



TUGAS AKHIR – RF-141501

APLIKASI TRANSFORMASI CURVELET PADA PENGOLAHAN DATA SEISMIK 2D

DIPTYA MAS NUGRAHA
NRP. 3713 100 042

Dosen Pembimbing :
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si.,M.T
NIP. 19690906 199702 1 001

Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19760123 200003 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



TUGAS AKHIR – RF-141501

APLIKASI TRANSFORMASI CURVELET PADA PENGOLAHAN DATA SEISMİK 2D

DIPTYA MAS NUGRAHA
NRP. 3713 100 042

Dosen Pembimbing :
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si.,M.T
NIP. 19690906 199702 1 001

Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19760123 200003 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN



UNDERGRADUATE THESIS – RF-141501

APPLICATION OF CURVELET TRANSFORM IN 2D SEISMIC DATA PROCESSING

DIPTYA MAS NUGRAHA
NRP. 3713 100 042

Supervisor:
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si.,M.T
NIP. 19690906 199702 1 001

Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19760123 200003 1 001

GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

APLIKASI TRANSFORMASI CURVELET PADA PENGOLAHAN DATA SEISMIK 2D

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Pada

Departemen Teknik Geofisika
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

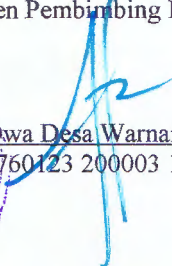
Surabaya, 20 Juli 2017

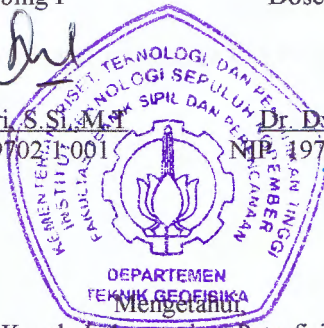
Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Dr. Avi Syaeful Bahri, S.Si, M.T
NIP. 19690906 199702 1 001


Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19760123 200003 1 001



Kepala Laboratorium Petrofisika,
Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Wien Lestari, S.T., M.T
NIP. 19811002 201212 2003

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “APLIKASI TRANSFORMASI CURVELET PADA PENGOLAHAN DATA SEISMIC 2D” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 20 Juli 2017

Diptya Mas Nugraha
NRP. 3713 100 042

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

APLIKASI TRANSFORMASI CURVELET PADA PENGOLAHAN DATA SEISMIK 2D

Nama : Diptya Mas Nugraha
NRP : 3713 100 042
Departemen : Teknik Geofisika
Pembimbing : (1) Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si.,M.T
(2) Dr. Dwa Desa Warnana

ABSTRAK

Noise acak pada data seismik masih menjadi permasalahan utama. Filter tradisional yang digunakan pada pengolahan data seismik masih memiliki kelemahan pada atenuasi *noise* acak karena masih menggunakan skala tunggal. Perkembangan filter telah mencapai multi skala. Salah satu transformasi tersebut adalah transformasi curvelet. Transformasi curvelet merupakan perkembangan dari transformasi wavelet yang mampu memisahkan *noise* dari sinyal dalam dimensi frekuensi, dip, azimuth dan lokasi. Pada penelitian ini, diterapkan transformasi curvelet pada data seismik 2D darat PSTM (*Post Stack Time Migration*) dan dua data seismik sintetik darat dengan bentuk model Antiklin dan geologi kompleks (model Marmousi). Langkah awal yang dilakukan adalah dengan membuat matrix pada tras data seismik, kemudian melakukan *Fast Fourier Trasnfrom (FFT)* 2D pada data seismik stack. Selanjutnya dilakukan *windowing* dalam domain frekuensi sehingga didapatkan koefisien curvelet. Setelah itu reduksi dengan bantuan threshold. Langkah terakhir dilakukan inverse FFT sehingga didapatkan kembali data yang telah di reduksi *noise*-nya. Berdasarkan hasil uji coba, didapatkan nilai parameter yang baik yaitu dengan nilai *finest* =1(curvelet), *nbscales* =3, *Angles coarse*=8, *sigma fine* = 10, *shift*= 3, *weighting*=8 dan *tuning neighbor* =10 . Hasil pada data sintetik menunjukkan nilai *signal to ratio* yang tinggi yaitu pada model sintetik “Antiklin” berkisar antara 27-28 dB dengan nilai SNR pada data *noisy* yaitu antara 19-25 dB sedangkan pada data seismik sintetik “Marmousi” memiliki nilai antara 15-16 dB pada data *noisy* dan nilai antara 17-21 dB pada data curvelet. Pada data seismik 2D PSTM menunjukkan spektrum amplitudo dan frekuensi dengan rentang nilai 5-60 HZ dengan nilai dominan yaitu 12-27 Hz, data sebelum transformasi memiliki nilai rentang 10-105 Hz dengan nilai dominan adalah 10-27 Hz. Transformasi Curvelet juga dapat menjadi filter terakhir pada data *final stack* dan mampu menjadi filter opsional dalam pengolahan data seismik darat 2D.

Kata Kunci : *Parameter Curvelet, Reflektor Seismik, Spektrum Amplitudo dan Frekuensi, Signal to Noise Ratio(SNR), Transformasi Curvelet*

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

APPLICATION OF CURVELET TRANSFORM IN 2D SEISMIC DATA PROCESSING

Name : Diptya Mas Nugraha
Student ID : 3713 100 042
Department : Geophysical Engineering
Supervisor : (1) Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si.,M.T
(2) Dr. Dwa Desa Warnana

ABSTRACT

Noise on seismic data is a major challenge for geophysicist on seismic data processing. Noise is divided into two types: random noise and coherent noise. Several methods have been able to eliminate coherent noise such as F-K Filters, Median Filtering and F-X Deconvolution. However, for random noise cases remains a challenge. Traditional filters used in seismic data processing still have weaknesses in random noise attenuation because they still use a single scale. The development of filters has reached multi-scale. One such transformation is the curvelet transform. Curvelet transform is the development of wavelet transforms capable of separating noise from signals in the dimensions of frequency, dip, azimuth and location. In this research use PSTM 2D (Post Stack Time Migration) seismic data and two synthetic ground seismic data with Anticline model and composite geology (Marmousi model). The first step is to create a matrix on the seismic trace data, then do the Fast Fourier Transform (FFT) 2D on the seismic data stack. Next is done windowing in the frequency domain so that the curvelet coefficient is obtained. After that reduction with the help of threshold. The last step is inverse FFT so that the data is recovered in the noise reduction. Based on the result of the experiment, we got good parameter value with finest value = 1 (curvelet), nb scales = 3, Angles coarse = 8, sigma coarse=3, sigma fine = 10, shift = 3, weighting = 8 and tuning neighbor = 10. The results of the synthetic data showed a high signal to ratio value that is in the synthetic model "Antiklin" ranging from 27-28 dB with SNR value in data noisy that is between 19-25 dB whereas in seismic synthetic data "Marmousi" has value between 15-16 DB on noisy data and values between 17-21 dB in curvelet data In 2D PSTM seismic data shows the amplitude and frequency spectrum with the range are 5-60 Hz and the dominant value are 12-27 Hz, then the data before the transformation has a value of 10-105 Hz range with the dominant value is 10-27 Hz. Curvelet transform can also be the last filter on the final data stack and capable of being an optional filter in the 2D seismic land data processing.

Keywords: *Amplitude and Frequency Spectrum, Curvelet Parameter, Curvelet Transform, Seismic Reflector, Signal to Noise Ratio (SNR)*

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat, hidayah serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan Judul :

“APLIKASI TRANSFORMASI CURVELET PADA PENGOLAHAN DATA SEISMIK 2D”

Dengan selesainya penulisan Tugas Akhir ini, maka penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Kedua Orang Tua yaitu Bapak Drs. Winarno beserta Ibu Henny Kartikawati S.H., M.H, dan kedua saudara kandung saya yaitu Galih Aji Kusuma S.T., dan Adya Kirana beserta saudara dan keluarga lainnya atas limpahan doa, kasih sayang dan teladan hidup bagi penulis.
2. Bapak Dr. Widya Utama, DEA selaku ketua Departemen Teknik Geofisika ITS.
3. Bapak Dr. Ayi Syaeful Bahri S.Si.,MT, selaku dosen pembimbing pertama pada pelaksanaan Tugas Akhir.
4. Dr. Dwa Desa Warnana, selaku dosen pembimbing kedua pada pelaksanaan Tugas Akhir.
5. Bapak Dr. Widya Utama, DEA dan Ibu Anik Hilyah S.Si, MT selaku dosen penguji sidang tugas akhir.
6. Software Lisensi *Tesseral Pro* dan *Script* MatLab dari www.curvelab.org.
7. Seluruh staf pengajar dan tenaga kependidikan Departemen Teknik Geofisika.
8. Tim “Tugas Akhir Seismik” dan Tim 14 yang telah membantu menyukseskan penelitian Tugas Akhir ini.
9. Dulur TG01, Dulur TG02, Tim Navigator, dan dulur “Keluarga Bahagia” UKTK ITS yang selalu mendukung dari mulai dukungan fisik hingga dukungan moral.
10. Teman-teman dan semua pihak yang telah membantu dari mana saja dan tidak dapat disebutkan penulis satu per satu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari pembaca sekalian sangat penulis harapkan sebagai modal pengembangan di masa yang akan datang. Penulis berharap dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Surabaya 20 Juli 2017

Penulis

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
1.6 Sistematika Penulisan Laporan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Geologi Regional Alaska Barat-Utara	5
2.2 Model Marmousi.....	6
2.3 Noise Pada Data Seismik Darat	8
2.3.1 Noise Koheren	8
2.3.2 Noise Acak	8
2.4 Signal To Noise Ratio (SNR)	9
2.5 Pengolahan Data Seismik	10
2.5.1 Pengaturan Geometri.....	10
2.5.2 Peredaman Gelombang.....	10
2.5.3 Filter Seismik.....	11
2.6 Transformasi Curvelet.....	11
BAB III METODOLOGI.....	19
3.1 Diagram Alir Penelitian	19
3.2 Pengolahan Data	22
3.2.1 Model Sintetik Antiklin.....	22
3.2.2 Operasi Transformasi Curvelet (MatLab)	26
3.2.3 Uji Coba Transformasi Curvelet Pada Data Sintetik “Antiklin”	29
3.2.4 Uji Coba Transformasi Curvelet Pada Data Sintetik “Marmousi”	33
3.2.5 Uji Coba Transformasi Curvelet Pada Data Seismik 2D Asli	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43

4.1	Analisis Perbandingan Signal to Noise Pada Data Sintetik Sebelum dan Sesudah Transformasi Curvelet	43
4.1.1	Analisis Kemenerusan Reflektor pada Data Seismik Sintetik	45
4.2	Analisis Parameter Curvelet Pada Data Sintetik “Marmousi” dan “Antiklin”	46
4.3	Analisis Transformasi Curvelet pada Data Seismik 2D Darat Alaska	47
4.3.1	Analisis Kemenerusan Reflektor Seismik	47
4.3.2	Analisis Spektrum Amplitudo dan Frekuensi	50
4.3.3	Test Case : Perbandingan Transformasi Curvelet dengan Filter Band Pass	52
BAB V KESIMPULAN		61
5.1	Kesimpulan	61
5.2	Saran	61
DAFTAR PUSTAKA		62
LAMPIRAN		65
PROFIL PENULIS.....		73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Geologi Regional Alaska Barat (Beikman, 1980).....	5
Gambar 2.2	Struktur model Marmousi berdasarkan pada gambar di atas. Profil melewati cekungan Quenguela Utara hingga cekungan Cuanza (Angola) (Verrier, 1972). Model berdasarkan (Martin, 2006).	7
Gambar 2.3	Ilustrasi event multiple (Hannsenn,2002)	8
Gambar 2.4	Penampang seismik CMP stack ; berdasarkan tanda persegi panjang kuning yaitu (a) Penampang seismik CMP stack sebelum dilakukan atenuasi noise acak dan (b) setelah dilakukan atenuasi noise acak (Yilmaz, 1987)	8
Gambar 2.5	Perdaman Gelombang (www.ensiklopediaseismik.com)	10
Gambar 2.6	Ilustrasi Skema Konstruksi menggunakan (a) Wavelets 2D dan (b) Curvelet (A. Gorszczyk., 2015).	11
Gambar 2.7	Fungsi dasar window pada gambar (a) dan (b), kemudian fungsi dasar curvelet(c) dan (d) pada domain frekuensi masing-masing (Ma, 2010).....	13
Gambar 2.8	Perbedaan filter pada data seismik 3D : a1) Data asli rekaman seismik , a)Penggunaan median Filtering pada data seismik, b) perbedaan a1 dan (a), c) penggunaan FX-Decon filter, d) Perbedaan a1 dan (c), e) Penggunaan Curvelet Denoising, f) Perbedaan a1 dan (e) (Neelamani, 2008).	15
Gambar 2.9	Kolom pertama : curvelet pada domain spasial. Kolom kedua: kaitan kisi spasial dan kolom spasial yang berwarna berdasarkan nilai koefisien (hitam bernilai 1 dan putih bernilai 0). Kolom ketiga: spektrum amplitudo dan kotak domain frekuensi. Baris pertama adalah curvelet. Baris kedua adalah curvelet dari indeks translasi yang berbeda. Baris ketiga: curvelet dari indeks sudut yang berbeda. Baris ke empat: curvelet dari indeks skala berbeda (yang lebih tinggi) (disini indeks translasi dan indeks sudut juga berbeda karena keduanya bergantung terhadap indeks skala) (Douma et.al, 2007)	16
Gambar 2.10	Perbandingan (a)-(c) data sebelum dan data (d)-(f) setelah dilakukan Transformasi Curvelet (Gorszczyk, 2014).	17
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	19
Gambar 3.2	Alur Kerja Transformasi Curvelet	20
Gambar 3.3	Model seismik sintetik geologi kompleks “Marmousi” (http://www.agl.uh.edu/downloads/downloads.htm).....	21
Gambar 3.4	Data seismik 2D Post Stack Time Migration (PSTM) NorthWest Alaska	

	(www.energy.usgs.gov/GeochemistryGeophysics/SeismicDataProcessing/Interpretation/NPRASEismicDataArchive.aspx). 21
Gambar 3.5	Model Sintetik Pada Uji Coba Transformasi Curvelet..... 22
Gambar 3.6	Tampilan Raw Data..... 23
Gambar 3.7	Analisis Kecepatan I dengan increment CMP adalah 5. 23
Gambar 3.8	Hasil Model Awal Setelah dilakukan Analisis Kecepatan I.... 24
Gambar 3.9	Analisis Kecepatan II. Semblance pada gambar semakin jelas. 24
Gambar 3.10	Hasil Stack II setelah Analisis Kecepatan II..... 25
Gambar 3.11	Data seismik dibaca pada MatLab berupa .struct. Terdiri dari informasi (16 fields) yaitu type, tag, name, from, line_number, reel_number, traces_per_record, first, step, last, units, header_info, traces, history, headers dan fp_format_of_segy_file. 26
Gambar 3.12	Hasil Uji Coba 1 dengan sigma 255..... 30
Gambar 3.13	Hasil Uji Coba 2 dengan sigma 25.5..... 30
Gambar 3.14	Hasil Uji Coba 3 dengan sigma 2.55..... 31
Gambar 3.15	Hasil Uji Coba 4 dengan sigma 200..... 31
Gambar 3.16.	Hasil Uji Coba 5 dengan sigma 382.5 atau 1.5×255 32
Gambar 3.17	Hasil Uji Coba 6 dengan sigma 510 atau 2×255 32
Gambar 3.18	Model Marmousi (a) (Martin, 2006) Data Original, (b) model dengan tambahan Gaussian Noise sigma 0.255, dan (c) Rekonstruksi Gambar tidak menunjukkan reflektor yang baik 34
Gambar 3.19	Model Marmousi (a) (Martin, 2006) Data Original, (b) model dengan tambahan Gaussian Noise sigma 0.255, dan (c) Rekonstruksi Gambar dilakukan cukup baik 34
Gambar 3.20	Model Marmousi (a) (Martin, 2006) Data Original, (b) model dengan tambahan Gaussian Noise sigma 0.255, dan (c) Rekonstruksi Gambar memperlihatkan semakin kabur pada reflektor time window 250-1000 ms. 35
Gambar 3.21	Data Stack Seismik hasil Percobaan (1). Data masih memiliki random noise yang mempunyai nilai frekuensi sama dengan sinyal seismik..... 37
Gambar 3.22	Data Stack Seismik Setelah dilakukan percobaan (2). Data memiliki resolusi vertikal yang baik dan telah hilang random noise pada sinyal. 37
Gambar 3.23	Data Stack Seismik Setelah dilakukan Percobaan (3). Data memiliki resolusi dan kontras yang baik dan telah hilang random noise pada sinyal. 38
Gambar 3.24	Data Stack Seismik Setelah dilakukan Percobaan (4). Data memiliki resolusi dan kontras tidak jauh dengan data asli sebelum transformasi curvelet. 38

Gambar 3.25	Data Stack Seismik Setelah dilakukan Percobaan (5). Data memiliki resolusi dan kontras tidak jauh dengan data asli sebelum transformasi curvelet.....	39
Gambar 3.26	Data Stack Seismik Setelah dilakukan Percobaan (6). Data memiliki resolusi dan kontras tidak jauh dengan data asli sebelum transformasi curvelet.....	39
Gambar 3.27	Data Stack Seismik Setelah dilakukan Percobaan (9). Data memiliki resolusi dan kontras tidak jauh dengan data asli sebelum transformasi curvelet.....	40
Gambar 3.28	Data Stack Seismik Setelah dilakukan Transformasi Curvelet (13). Data memiliki resolusi dan kontras yang sama pada percobaan (2).	40
Gambar 4.1	Grafik Perbandingan Nilai Signal to Noise Ratio (SNR) pada data saat ditambahkan gaussian noise dan setelah dilakukan transformasi curvelet.....	43
Gambar 4.2	Grafik Perbandingan Nilai Signal to Noise Ratio (SNR) pada data saat ditambahkan gaussian noise dan setelah dilakukan transformasi curvelet. Terlihat peningkatan yang lebih tinggi terhadap nilai SNR terhadap nilai nbscales.....	44
Gambar 4.3	Reflektor seismik sintetik “Antiklin” pada time window 1000-200 ms menunjukkan rekonstruksi yang baik (kotak merah).	45
Gambar 4.4	Rekonstruksi reflektor pada data seismik sintetik “Marmousi”. Reflektor semu (kotak merah) hilang tertutup oleh noise. Saat dilakukan curvelet, maka yang tersisa adalah reflektor yang dominan. Panah merah menunjukkan kemampuan curvelet dalam mengembalikan reflektor pada time window 2000-2300 ms dengan baik.	46
Gambar 4.5	Penampang seismik sebelum (a) dan setelah (b) dilakukan transformasi curvelet. Gambar merupakan data awal (a) dan hasil percobaan kedua(b) dari pengolahan data (lihat sub bab 3.2.5). Panah hitam menunjukkan perbedaan kontras reflektor yang lebih tajam dan halus dari yaitu pada gambar (b).....	48
Gambar 4.6	Kontras reflektor seismik pada time window 2800-3000 ms setelah zoom in. Pada gambar (a) terlihat masih terdapat guratan dan pada gambar (b) guratan telah hilang (yang ditunjukkan dengan lingkaran hitam). Pada panah hitam menunjukkan perbedaan kontras pada bagian sinklin.	50
Gambar 4.7	Tampilan Spektrum Amplitudo pada Data sebelum Transformasi Curvelet.	51
Gambar 4.8	Tampilan Spektrum Amplitudo pada Data Setelah Transformasi Curvelet.	51

Gambar 4.9	Data Asli Penampang Seismik PSTM Original. Panah kuning menunjukkan fokus untuk perubahan yang terjadi setelah dilakukan filter bandpass dan Transformasi Curvelet.....	52
Gambar 4.10	Aplikasi filter yaitu Transformasi Curvelet (Kiri) dan Band Pass Filter (Kanan). Panah kuning menunjukkan perubahan yang signifikan dari data awal pada gambar 4.9.	53
Gambar 4.11	Pada time window yang berbeda, panah kuning menunjukkan peningkatan kontras reflektor dengan metode transformasi Curvelet (kiri) dan filter band pass (kanan). Informasi sebelumnya menjadi setelah menggunakan filter band pass. ...	53
Gambar 4.12	Perbandingan hasil filter Band Pass (untuk nomor 1) dan Transformasi Curvelet (untuk nomor 2) secara berturut-turut pada tras 1 (a1 dan a2), tras 2 (b1 dan b2), tras 3 (c1 dan c2) dan tras 4 (d1 dan d2). Kurva hitam merupakan nilai SNR (dalam dB(decibel)) pada tras dan kurva biru merupakan nilai tras rata-rata dari keempat tras yang dipilih.	58
Gambar 4.13	Perbandingan Spektrum Amplitudo antara (a) Filter Band Pass (10-15-35-60 Hz) dan (b) Transformasi Curvelet.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Nilai kecepatan dan densitas untuk litologi pada Model Marmousi Nilai lapisan pada model Mamousi adalah berdasarkan tabel tersebut (Versteeg, 1994).....	7
Tabel 3.1	Hasil Percobaan Pada Data Sintetik “Antiklin”. Terdapat 6 percobaan yang telah dilakukan dengan variasi nilai sigma (nilai penambahan noise) yang diberikan pada data sintetik “Antiklin”.	29
Tabel 3.2	Hasil uji coba dan Parameter yang digunakan dalam Uji Coba Transformasi Curvelet Pada Data Sintetik “Marmousi”.	33
Tabel 3.3	Hasil Percobaan Parameter Pada Transformasi Curvelet 2D untuk Data Seismik PSTM (Post Stack Time Migration) ...	36
Tabel 4.1	Parameter yang digunakan dalam pengolahan data seismik 2D PSTM.....	47
Tabel 4.2	Parameter pada filter band pass.	54
Tabel 4.3	Daftar Nilai SNR Tertinggi Pada Data setelah filter BandPass dan filter Transformasi Curvelet	58

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan utama pada pengolahan data seismik adalah menjaga kehalusan sepanjang bidang reflektor ketika data tersebut memiliki *noise*. Proses pengolahan data akan menghasilkan penampang seismik dengan S/N (*Signal to Noise Ratio*) yang baik tanpa mengubah bentuk reflektor penampang seismik dan memengaruhi tahapan interpretasi dalam penemuan cadangan hidrokarbon maupun gas bumi.

Pengolahan data secara konvensional telah dilakukan dengan menggunakan operator skala tunggal seperti F-X Deconvolution (Canales L. , 1984), Median Filtering (Bednar, 1983) yang mampu menghilangkan *noise* koheren dan transformasi *tau-p* (Zhou, 1994) yang mampu menghilangkan *noise* acak yaitu dengan sinyal atau representasi gambar tanpa melibatkan elemen multi jamak (multi resolusi). Namun filter umum ini juga menghilangkan sinyal yang berguna dalam pengolahan data seismik.

Saat ini, ilmuwan telah mengembangkan aplikasi pengolahan gambar (*image processing*) pada komputer yang mampu mereduksi *noise* dengan mengekstrak suatu citra pada posisi, jarak, skala dan parameter yang berkaitan. Suatu objek pada skala yang berbeda dapat timbul dari proses fisik yang khusus sehingga mampu mengatasi hilangnya elemen seperti tepi dan garis pada elemen anisotropi (Ma, 2010)

Keunggulan pada metode *image processing* inilah yang menjadikan para ilmuwan kebumihan untuk menggunakan metode multi jamak dalam hal reduksi *noise* (denoising), salah satunya adalah metode Transformasi Curvelet (Starck, et. al, 2002). Transformasi Curvelet sebagai transformasi multi jamak yang mampu menggambarkan lebih efisien bidang tepi dan singularitas sepanjang kurva daripada transformasi biasanya dengan menggunakan sedikit koefisien untuk merekonstruksi sinyal. Sejak saat itu, transformasi curvelet mulai diaplikasikan pada bidang ilmu terapan lainnya, salah satunya pada bidang pengolahan data seismik. Menurut Neelamani (2008), optimalisasi pelemahan *noise* acak dapat dilakukan dengan baik menggunakan Transformasi Curvelet. Tidak hanya itu, transformasi curvelet juga biasa digunakan untuk melemahkan *multiple seismic* pada data *marine* (Donno, 2010).

Pada tugas akhir ini akan dilakukan aplikasi transformasi curvelet pada data seismik sintetik dan data seismik *real* 2D. Hasil perbandingan sebelum dan setelah filter transformasi curvelet secara umum akan dianalisis seberapa jauh efek filter terhadap pelemahan *noise* dan bagaimana bentuk spektrum amplitudo dan frekuensinya. Hasil akhir pada data seismik sintetik dan *real* 2D adalah data *stack* seismik yang dapat menampilkan reflektor yang baik, meningkatkan nilai S/N ratio serta melemahkan *noise* tanpa menghilangkan bagian-bagian reflektor yang lain sehingga dapat dilakukan pengolahan data seismik pada tahap selanjutnya.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang sudah ada di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh transformasi curvelet pada nilai *signal to noise ratio* pada data seismik sintetis saat ditambahkan *noise* acak dan setelah dilakukan transformasi curvelet ?
2. Bagaimana pengaturan parameter pada transformasi curvelet untuk atenuasi *noise* gauss pada data sintetis dan *noise* acak (*random noise*) pada data seismik asli ?
3. Bagaimana kemenerusan reflektor secara kualitatif setelah dan sebelum dilakukan transformasi curvelet ?
4. Bagaimana dampak data yang telah dan belum dilakukan transformasi curvelet berdasarkan nilai spektrum amplitudo dan frekuensi ?

1.3 Batasan Masalah

Dari rumusan masalah yang sudah didapatkan, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Pengolahan data seismik menggunakan perangkat lunak yaitu Tesseract, *Vista Seismic Processing 2D/3D* , *SeiSee* dan Matlab 2015.
2. Penambahan *Noise* pada data sintetis menggunakan jenis *Gaussian Noise*.
3. Model Sintetis telah memakai atenuasi dalam permodelannya
4. Parameter dan variabel ditentukan berdasarkan hasil yang terbaik
5. Tahapan pada data sintetis hanya sampai pengolahan data yaitu tahap *normal move out* (NMO)

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Membandingkan nilai *Signal to Noise Ratio* pada dua data sintetis yang telah ditambahkan *noise* dan setelah transformasi curvelet.
2. Mendapatkan parameter untuk atenuasi *gaussian noise* pada data sintetis dan *noise* acak pada data *real* seismik
3. Menganalisis resolusi kemenerusan reflektor secara kualitatif pada penampang seismik sintetis dan data seismik asli
4. Menganalisis nilai Spektrum Amplitudo dan Frekuensi pada data seismik asli sebelum dan setelah transformasi curvelet.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan didapatkan dari pelaksanaan penelitian ini ialah sebagai berikut :

1. Transformasi curvelet dapat diaplikasikan pada instansi pengolahan data seismik, khususnya pada atenuasi *noise* acak
2. Transformasi curvelet dapat dijadikan sebagai referensi filter dalam pengolahan data seismik darat 2D.

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir disusun untuk mempermudah dalam memahami struktur dan isi laporan tugas akhir ini. Penulisan laporan dibagi menjadi tiga bagian utama yakni bagian pendahuluan, isi, dan bagian akhir laporan. Berikut penjelasan singkat pada masing-masing bagian :

- **Bagian Awal**

Bagian awal laporan tugas akhir terdiri dari halaman judul, lembar pengesahan, pernyataan keaslian tugas akhir, abstrak, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar, dan daftar tabel.

- **Bagian Isi**

Bagian isi laporan terdiri dari :

BAB I Pendahuluan terdiri dari latar belakang penelitian, rumusan masalah penelitian yang diangkat, Batasan masalah penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan laporan.

BAB II Tinjauan Pustaka terdiri dari kajian wilayah meliputi kajian geologi, dasar tentang *noise* dan pengolahan data seismik 2D, nilai *signal to noise ratio*, metode transformasi curvelet, serta penelitian terdahulu tentang penggunaan transformasi curvelet pada pengolahan data seismik 2D.

BAB III Metode penelitian terdiri dari konsep dasar penelitian, cara kerja, deskripsi parameter dan pengolahan data.

BAB IV Hasil dan Pembahasan terdiri dari hasil penelitian berupa analisis dan pembahasannya.

BAB V Penutup terdiri dari kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk penelitian lebih lanjut.

- **Bagian Akhir**

Bagian akhir laporan terdiri dari daftar pustaka yang digunakan sebagai literature dan referensi penulisan serta lampiran yang berisikan script MatLab penelitian, penampang seismik sebelum dan setelah transformasi curvelet serta hal-hal lain yang tidak bias dicantumkan dalam bagian lainnya.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

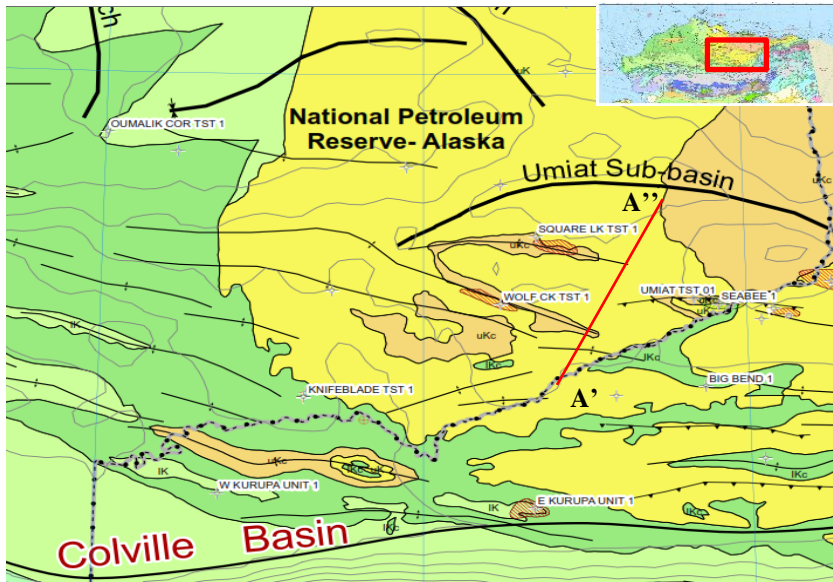
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional Alaska Barat-Utara

Geologi regional Alaska Barat merupakan daerah yang dijadikan eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi oleh USGS Amerika Serikat. Geologi pada Alaska Barat-Utara terdiri dari 4 sekuen stratigrafi dengan urutan dari tua hingga muda diantaranya sekuen frankilian, ellesmerian, beaufortian, dan brookian.

Pada sekuen Brookian, secara umum terdiri dari *shale* dan batu pasir yang terendapkan pada laut dengan kedalaman ribuan meter. Batuan diatasnya secara tipikal terdiri dari batu pasir dan *shale* berasosiasi dengan endapan pantai, delta sungai atau lingkungan atas laut dangkal. Transisi tersebut bergerak secara progresif dan menjadi pengisi pada cekungan Colville (*Colville Basin*) pada cekungan muka daratan Brookian (Factor, 2005).

Berikut peta geologi daerah Alaska barat beserta keterangannya :



Gambar 2.1 Geologi Regional Alaska Barat (Beikman, 1980)

Kode pada
Peta

Deskripsi



: terletak pada umur *Upper Cretaceous*, terdiri dari batu pasir, *shale*, dan conglomerate.



: terletak pada umur *Upper Cretaceous*, merupakan lingkungan pengendapan daratan,

IKc

terdiri dari batu pasir dan konglomerat dan *shale* yang terinterbedded, lempung, *silt*, dan bentonite. : terletak pada umur *Cretaceous* bawah dan atas, merupakan lingkungan pengendapan daratan, terdiri dari *shale*, batu lempung, batu silt, batu pasir, conglomerate, *shale* batubara dan batubara, batu besi, bentonite.

IK

: merupakan sekuen sedimen stratigrafi, terletak pada umur *Cretaceous* bawah, terdiri dari *graywacke*, batu pasir, *shale*, *siltstone*, dan konglomerat

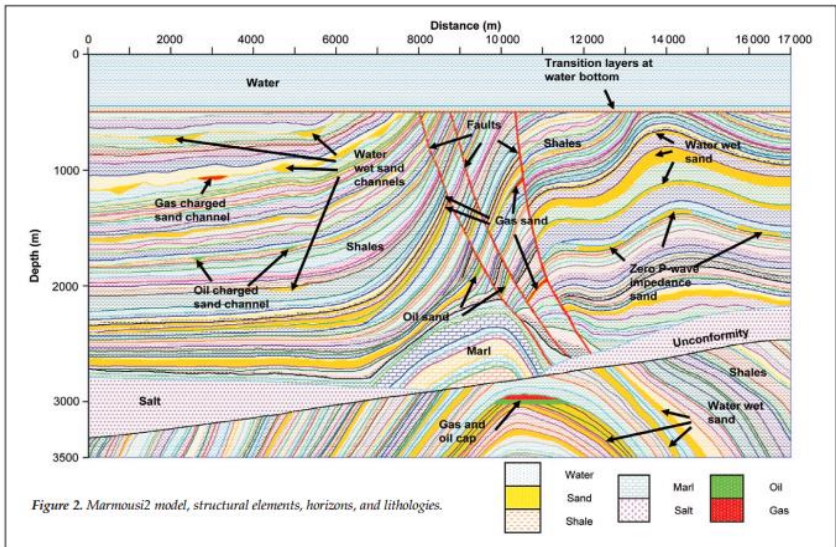


: lokasi data asli seismik, dari selatan ke utara (A-A')

2.2 Model Marmousi

Geologi regional pada model marmousi berdasarkan profile cekungan utara Quenguela hingga cekungan Cuanza (Angola) (Verrier, 1972). Distribusi kecepatan dan densitas didefinisikan sebagai gradien kecepatan horizontal dan vertikal. Distribusi kecepatan pada bagian lebih rendah (jenis detrital) memiliki gradien kecepatan yang tinggi terhadap daya kompaksi pada model. Cekungan dari model geologi terdiri dari :

- Interval delta sedimen, menebal dari barat ke timur, disimpan pada serangkaian *evaporitic saliferous*. Di bagian timur, yang tampaknya lebih terpengaruh oleh *creep salt* lateral secara kontinu, patahan normal telah tumbuh .
- Kemudian, endapan platform karbonat berlipat tipis, di mana ada perangkap hidrokarbon pada patahan struktural.



Gambar 2.2 Struktur model Marmousi berdasarkan pada gambar di atas. Profil melewati cekungan Quenguela Utara hingga cekungan Cuanza (Angola) (Verrier, 1972). Model berdasarkan (Martin, 2006).

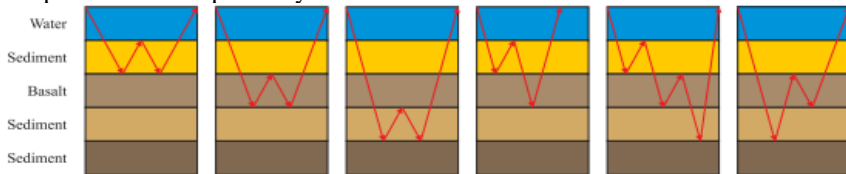
Tabel 2.1 Nilai kecepatan dan densitas untuk litologi pada Model Marmousi Nilai lapisan pada model Mamousi adalah berdasarkan tabel tersebut (Versteeg, 1994).

	V_p (m/s)	V_s (m/s)	ρ (g/cm ³)
Water	1500	0	1.01
Sand	From Marmousi	$V_s = 0.804V_p - 856$	$\rho = 0.2736V_p^{.261}$
Shale	From Marmousi	$V_s = 0.770V_p - 867$	$\rho = 0.2806V_p^{.265}$
Salt	4500	2600	2.14
Limestone	From Marmousi	$V_s = 1.017V_p - 0.055V_p^2 - 1030$	$\rho = 0.3170V_p^{.225}$

2.3 Noise Pada Data Seismik Darat

2.3.1 Noise Koheren

Noise Koheren disebabkan oleh beberapa faktor yakni lapisan batuan yang kontras, efek *event* yang semu dan lain sebagainya. *Noise* ini memiliki pola keteraturan pada *traces* ke trace. Contoh *noise* koheren diantaranya *multiple*, *ground roll*, *noise* kabel, dan *guided waves*. *Multiple* adalah *noise* koheren dimana *event* seismik mengalami lebih dari satu kali refleksi dari posisi reflektor primernya.

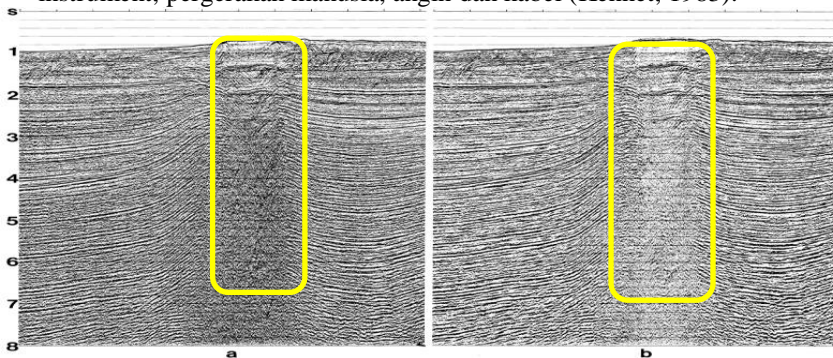


Gambar 2.3 Ilustrasi *event multiple* (Hannsenn,2002)

Gelombang yang direfleksikan akan kembali ditransmisikan dan direfleksikan lagi sehingga menyebabkan data yang terekam memiliki waktu tempuh yang besar dengan kecepatan rendah. Ketika ada even berulang pada time yang tidak sewajarnya maka dapat diasumsikan sebagai *multiple*

2.3.2 Noise Acak

Noise acak memiliki frekuensi yang lebih tinggi dari fasanya dan tidak sama dengan *noise* koheren. Contoh *noise* acak adalah *noise* akibat instrument, pergerakan manusia, angin dan kabel (Kennet, 1983).



Gambar 2.4 Penampang seismik CMP *stack* ; berdasarkan tanda persegi panjang kuning yaitu (a) Penampang seismik CMP *stack* sebelum dilakukan attenuasi *noise* acak dan (b) setelah dilakukan attenuasi *noise* acak (Yilmaz, 1987)

2.4 Signal To Noise Ratio (SNR)

Upaya untuk meningkatkan efisiensi metode rasio estimasi *signal-to-noise* (SNR) algoritma berdasarkan asumsi bahwa sinyal seismik berkorelasi dari trace ke trace namun pada sinyal *noise* tidak.

Berdasarkan pada asumsi ini untuk tiap trace T_i (dimana tiap $i \in \{1, X-1\}$ dan X merupakan jumlah trace). Estimasi autokorelasi pada tiap sinyal A_{si} sebagai rata-rata kros korelasi $C_{T_i T_{i+1}}, C_{T_{i+1} T_i}$ diantara dua trace yang berdekatan yaitu T_i, T_{i+1} ;

$$A_{si} = \frac{1}{2} (C_{T_i T_{i+1}}, C_{T_{i+1} T_i}) \quad (2.1)$$

Dalam menentukan autokorelasi dari sinyal *noise* pada trace T_i yang sama maka dihitunglah Autokorelasi pertama yaitu $A_{T_i T_i}$ dan $A_{T_{i+1} T_{i+1}}$ sehingga rata-rata hasil subtraksi persamaan diatas sebagai berikut :

$$A_{T_i T_i} - A_{si} = A'_{Ni} \quad (2.2)$$

dan

$$A_{T_{i+1} T_{i+1}} - A_{si} = A'_{N_{i+1}} \quad (2.3)$$

Setelah itu didapatkan estimasi *noise* autokorelasi A_{Ni} untuk trace T_i sebagai berikut :

$$A_{Ni} = \frac{1}{2} (A'_{Ni} + A'_{N_{i+1}}) \quad (2.4)$$

Sejak autokorelasi memiliki nilai yang maksimumnya saat *lag* adalah nol dan karena nilai *zero lag* dari autokorelasi tidak lebih dari jumlah akar nilai sampel, maka dari itu dihitunglah persamaan SNR yaitu

$$SNR_i = \frac{\text{rms of signal}}{\text{rms of noise}} = \sqrt{\frac{\max(A_{si})}{\max(A_{Ni})}} \quad (2.5)$$

Diestimasikan rasio SNR_i pada trace T_i . Terjadi pengulangan pada alur tersebut untuk setiap semua bagian trace $[T_i, T_{i+1}; T_i, T_{i+2}; \dots; T_{N-1}, T_N]$ sehingga didapatkan nilai vektor dari $(SNR_1, SNR_2, \dots, SNR_{N-1})$. Persamaan SNR akhir didapatkan dengan rata-rata :

(Dash dan Obaidullah (1970) & Ikelle dan Amundsen (2005))

$$SNR = \frac{1}{N-1} (SNR_1 + SNR_2 + \dots + SNR_{N-1}) \quad (2.6)$$

Untuk kasus pengolahan data pada bentuk piksel, khususnya di MatLab, maka untuk mendapatkan nilai SNR maka harus diketahui dahulu nilai maksimum piksel pada gambar dan nilai *mean square error* (MSE) nya. Menurut (Binh & Khar, 2010) untuk mendapatkan nilai MSE adalah sebagai berikut :

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |I[m, n] - \tilde{I}[m, n]|^2 \quad (2.7)$$

dengan I adalah gambar original dan \tilde{I} adalah gambar setelah reduksi *noise* atau setelah ditambahkan *noise*. Untuk SNR dapat didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$PSNR = 20 \log_{10} \frac{MAX_i}{\sqrt{MSE}} \quad (2.8)$$

dimana MAX_i adalah nilai piksel maksimum dari gambar.

2.5 Pengolahan Data Seismik

2.5.1 Pengaturan Geometri

Pada awal menerima data, dilakukan pengaturan geometri meliputi koordinat sumber, *receiver*, kedalaman sumber, *time up hole* dan elevasi dari masing-masing *receiver*. Pengaturan geometri merupakan penting karena untuk pembacaan data pada komputer pada tahap awal.

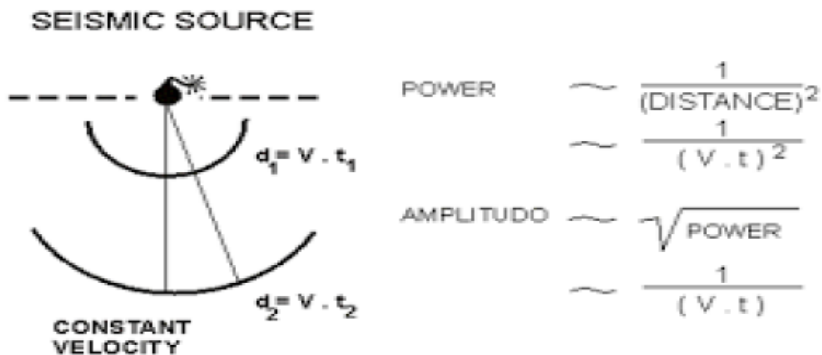
2.5.2 Peredaman Gelombang

Akibat pengaruh geometri bumi yang spheric, energi akan semakin melemah jika semakin jauh dari sumber. Maka diperlukan faktor koreksi untuk meningkatkan amplitudo sesuai fungsi waktunya. Koreksi *spherical divergence* ditujukan untuk meningkatkan resolusi di kedalaman yang lebih dalam.

Koreksi spherical divergence sendiri menggunakan formula P. Newman sebagai berikut:

$$D = T \frac{V_{rms}^2(T)}{V_0} \quad (2.9)$$

dimana D adalah faktor koreksi, V_0 adalah *velocity* konstan (medium pertama), T adalah waktu perambatan dari sumber ke *receiver* (dalam sekon), dan $V_{rms}(T)$ adalah kecepatan RMS (*Root Mean Square*).



Gambar 2.5 Peredaman Gelombang (www.ensiklopediaseismik.com)

Koreksi ini merupakan koreksi yang digunakan akibat geometri bumi, dengan pengaruh kecepatan untuk setiap waktu sehingga data yang dikenai *spherical divergence* masih *preserve*. Berbeda dengan ekualisasi (*automatic gain control*) yang merupakan multiplikasi untuk amplitudo pada window

tertentu menggunakan rata-rata amplitudo pada window tersebut. Data yang dikenai AGC tidak lagi *preserve*.

2.5.3 Filter Seismik

- Filter *Band Pass*

Filter ini adalah metode paling mudah untuk menekan *noise* yang ada diluar spectrum frekuensi dari sinyal yang diinginkan. Salah satu cara menerapkan sekumpulan filter dengan selang frekuensi yang sempit pada satu data seismik untuk melihat bagian dari spectrum yang mengandung sinyal dan bagian yang didominasi oleh *noise*.

- Filter F-K

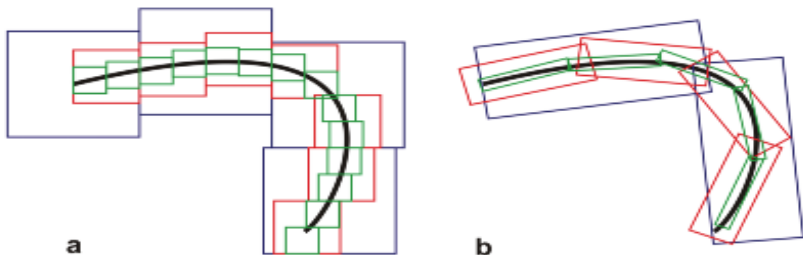
Dilakukan dengan cara merubah data seismik dari domain waktu dan jarak ke domain frekuensi(F) dan bilangan gelombang (K) menggunakan transformasi fourier.

- Filter Time Variant

Filter ini mampu membagi trace seismik menjadi beberapa segmen dan memperlakukan tiap segmen sebagai sinyal yang terpisah. Filter didesain dan diterapkan untuk setiap segmen kemudian hasilnya disatukan kembali.

2.6 Transformasi Curvelet

Transformasi curvelet pada dasarnya dapat melakukan filter fitur direksional (berupa tepi dan lengkungan) pada gambar 2 dimensi (2D). Transformasi multidimensi (*Curvelet Transform*) merupakan transformasi multidimensi yang mampu memisahkan koheren *noise* dari sinyal yang kita hendaki. Teknologi ini diklaim mampu memisahkan *noise* dari sinyal dalam dimensi frekuensi, dip, azimuth dan lokasi (Candes E.J., 2006). Karena kelebihanannya, metode ini tidak dimiliki oleh teknik konvensional seperti medianfiltering dan FX-Deconvolution.



Gambar 2.6 Ilustrasi Skema Konstruksi menggunakan (a) Wavelets 2D dan (b) Curvelet (A. Gorszczyk., 2015).

Ilustrasi gambar di atas menunjukkan kemampuan curvelet dalam merekonstruksi ulang suatu bentuk lengkungan. Curvelet membentuk ulang bentuk lengkungan lebih halus, koefisien lebih sedikit dibandingkan dengan wavelet 2D. Berdasarkan hal tersebut, curvelet yang memiliki sparsity lebih banyak menjadikan suatu kelebihan dalam merekonstruksi ulang objek lengkung secara halus

Transformasi Curvelet mampu mengestimasi data *noise* yang tak dikenal, dimisalkan dengan m , dengan persamaan sebagai berikut:

$$y = m + n \quad (2.10)$$

dimana y adalah data *noise*, dan n adalah pusat nol *noise Gaussian* (Hennenfent dan Herrmann, 2006). Berdasarkan pada pengolahan data, maka diterapkan pada data terlebih dahulu, data *noise* dapat menjadi putih ataupun berwarna. Tujuan utama dalam persamaan ini adalah untuk memulihkan m tanpa kehilangan informasi refleksi yang koheren, sehingga m diperluas di domain curvelet yaitu, $y = C^h x + n$ (2.11)

di mana x adalah curvelet transformasi vektor dan C^h adalah curvelet transformasi sintesis operator. Di sini, simbol^h menunjukkan konjugasi transpose yang setara dengan kebalikan untuk transformasi curvelet. Penggunaan Transformasi kedepan dan kebelakang dari curvelet diambil dari kode *Curveletab* tersedia di www.curvelet.org. Koefisien curvelet dideteksi dimana nilai absolut melebihi ambang batas.

Windowing pada Transformasi Curvelet

Dasar *windowing* pada transformasi curvelet dibentuk oleh jendela radial $W(r)$ dan secara sudut $V(t)$ sehingga membentuk persamaan curvelet dengan menggunakan tiga parameter yaitu skala, translasi, dan rotasi.

$$V(t) = \begin{cases} 1 & |t| \leq \frac{1}{3} \\ \cos\left[\frac{\pi}{2}\alpha(3|t| - 1)\right] & \frac{1}{3} \leq |t| \leq \frac{2}{3} \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (2.12)$$

$$W(r) = \begin{cases} \cos\left[\frac{\pi}{2}\alpha(5 - 6r)\right] & \frac{2}{3} \leq |r| \leq \frac{1}{3} \\ 1 & \frac{5}{6} \leq |r| \leq \frac{4}{3} \\ \cos\left[\frac{\pi}{2}\alpha(3r - 4)\right] & \frac{4}{3} \leq |r| \leq \frac{5}{3} \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (2.13)$$

$$\alpha(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ \frac{S(x-1)}{S(x-1)+S(x)} & 0 < x < 1 \\ 1 & x \geq 1 \end{cases} \quad (2.14)$$

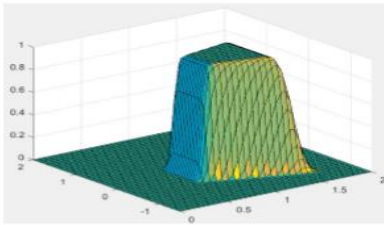
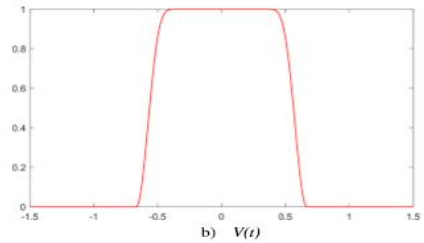
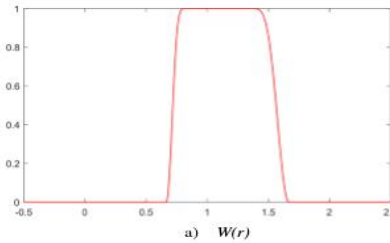
dimana dengan v merupakan fungsi *smooth*

$$V(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0, \\ 1 & x \geq 1, \end{cases} \quad v(x) + v(1-x) = 1, \quad x \in \mathbb{R} \quad (2.15)$$

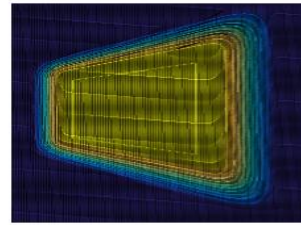
Dua fungsi *window* $V(t)$ dan $W(r)$ tersebut dapat disamakan dengan jendela Mayer memenuhi kondisi yang sama sebagai berikut :

$$\sum_{j=-\infty}^{\infty} W^2(2^j r) = 1 \quad r > 0 \quad (2.16)$$

$$\sum_{l=-\infty}^{\infty} V^2(t-l) = 1 \quad t \in R \quad (2.17)$$



c) $X_{(a,0,0)}(\omega)$ in the frequency domain



d) $X_{(a,0,0)}(\omega)$ support in the frequency domain

Gambar 2.7 Fungsi dasar *window* pada gambar (a) dan (b), kemudian fungsi dasar curvelet(c) dan (d) pada domain frekuensi masing-masing (Ma, 2010)

Persamaan curvelet dibentuk oleh fungsi window di atas. Fungsi dasar curvelet, yaitu transformasi fourier, didapatkan dengan mengalikan persamaan $W(r)$ dan $V(t)$. Diasumsikan bahwa $x = [x_1, x_2]^T$ dan $\omega = [\omega_1, \omega_2]^T$ adalah masing-masing pada domain spasial dan frekuensi; maka pada koordinat polar dari ω digambarkan dengan $r = \sqrt{[\omega_1^2 + \omega_2^2]}$ dan tetha (θ) adalah $\arctan \frac{\omega_1}{\omega_2}$.

Transformasi fourier didapatkan sebagai berikut :

$$\Psi_a(r; \theta) = a^{\frac{3}{4}} W(ar) V\left(\frac{\theta}{\sqrt{(a)}}\right) \quad (2.18)$$

Transformasi curvelet memetakan sinyal *noise* dan koheren dalam yang berbeda dari koef. Curvelet. Tidak seperti *noise* koheren, energi pada *noise* acak (*random noise*) tersebar pada semua dip dan frekuensi. Oleh karena itu, Transformasi curevelet mampu memetakan *noise* acak pada bilangan besar dan amplitudo lemah dengan koefisien curvelet sehingga dapat mengatenuasi *noise* dengan kerusakan yang sedikit terhadap sinyal oleh atenuasi koef curvelet yang cocok terhadap *noise*.

Prinsip denoising dengan Curvelet Transform yaitu dengan melakukan FFT 2D pada data seismik berupa stack ataupun CMP gather yang telah di NMO, kemudian melakukan windowing dari hasil pertama dengan polar Grid dalam domain frekuensi sehingga diperoleh Curvelet Coefficient, melakukan *scalling* (*denoising*) dari koefisien *curvelet* tersebut, melakukan inversi untuk memperoleh kembali data seismik yang telah di-denoise.

Transformasi Curvelet dibedakan menjadi dua jenis yaitu Transformasi Curvelet Khusus via *Unequipped* Fast Fourier Transform dan Transformasi Curvelet via Wrapping. Perbedaan antara keduanya adalah pada grid spasial yang biasa digunakan pada curvelet tiap skala dan sudut (Candes E.J., 2006). Berikut koefisien curvelet :

$$c^D(j, l, k) = \frac{1}{n^2} \sum_{n_1=-n/2}^{n/2-1} \sum_{n_2=-n/2}^{n/2-1} \tilde{U}_{j,l}[n_1, n_2] \hat{f}[n_1, n_2] e^{2\pi i(k_1 n_1 / L_{1,j} + k_2 n_2 / L_{2,j})} \quad (2.19)$$

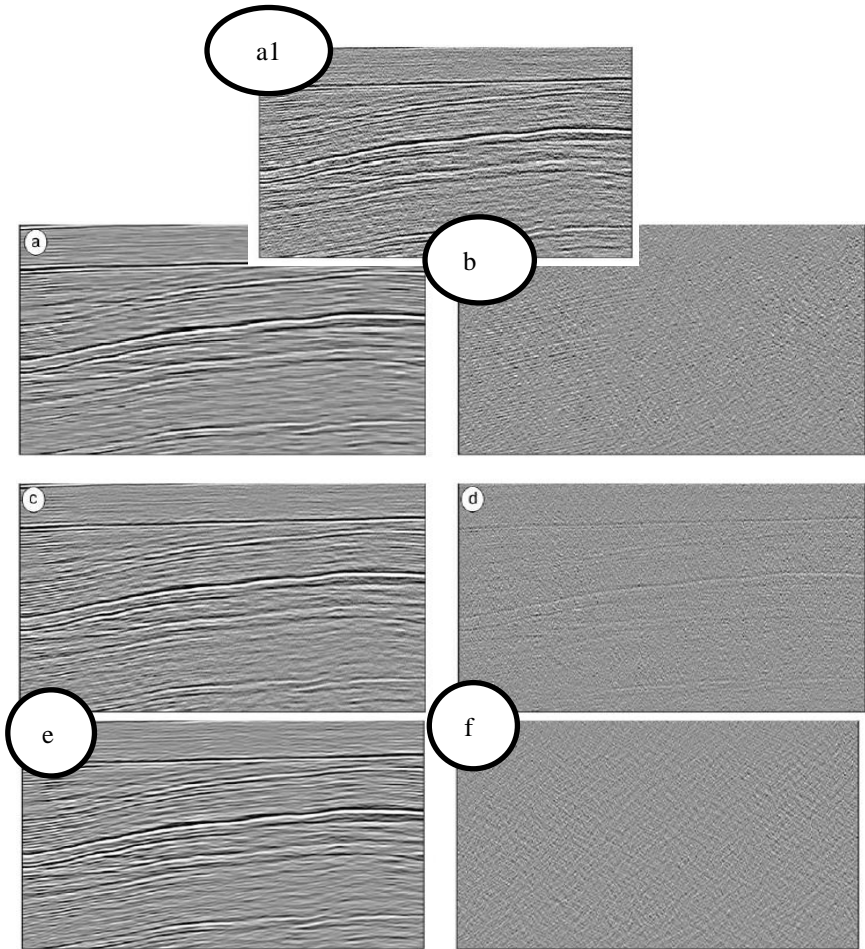
Keterangan :

$c^D(j, l, k)$ = koefisien curvelet digital pada skala, sudut dan posisi,

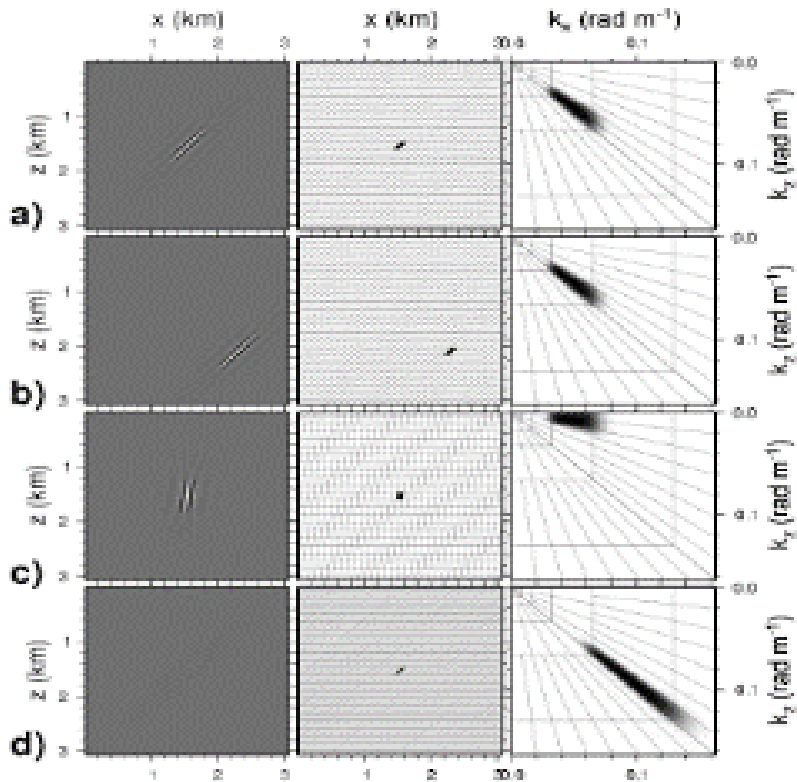
$L_{1,j} L_{2,j}$ = bagian piksel pada gambar, berukuran persegi panjang,

$\tilde{U}_{j,l}[n_1, n_2]$ = jendela frekuensi pada domain fourier untuk tiap n_1 dan n_2

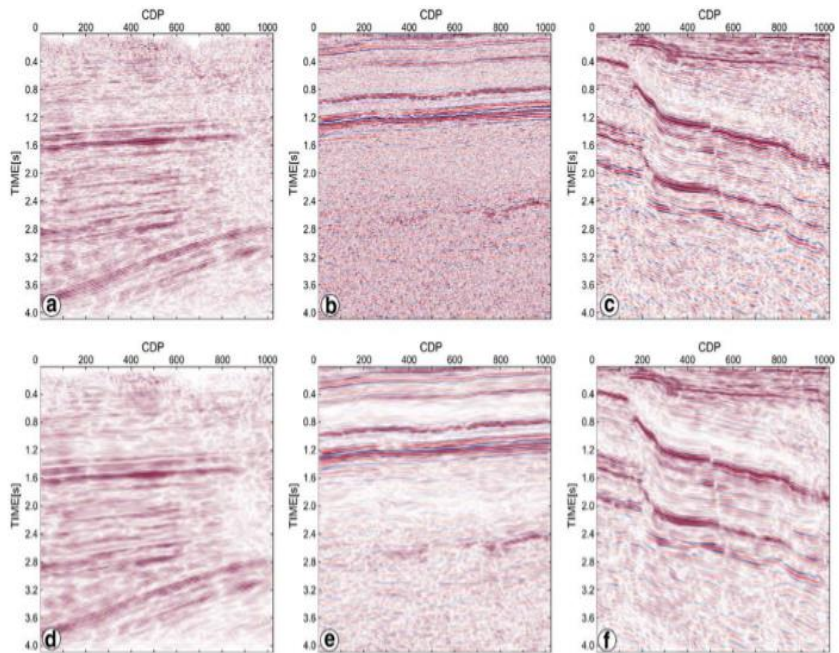
Gambar di bawah ini adalah Curvelet dalam domain spatial (kolom pertama) dan amplitudo spektra pada polar grid (kolom ketiga) untuk masing-masing lokasi polar grid memiliki ukuran(*size*), arah(*azimuth*), lokasi dan kemiringan tertentu (Douma et.al, 2007).



Gambar 2.8 Perbedaan filter pada data seismik 3D : a1) Data asli rekaman seismik , a) Penggunaan median Filtering pada data seismik, b) perbedaan a1 dan (a), c) penggunaan FX-Decon filter, d) Perbedaan a1 dan (c), e) Penggunaan Curvelet Denoising, f) Perbedaan a1 dan (e) (Neelamani, 2008).



Gambar 2.9 Kolom pertama : curvelet pada domain spasial. Kolom kedua: kaitan kisi spasial dan kolom spasial yang berwarna berdasarkan nilai koefisien (hitam bernilai 1 dan putih bernilai 0). Kolom ketiga: spektrum amplitudo dan kotak domain frekuensi. Baris pertama adalah curvelet. Baris kedua adalah curvelet dari indeks translasi yang berbeda. Baris ketiga: curvelet dari indeks sudut yang berbeda. Baris ke empat: curvelet dari indeks skala berbeda (yang lebih tinggi) (disini indeks translasi dan indeks sudut juga berbeda karena keduanya bergantung terhadap indeks skala) (Douma et.al, 2007)



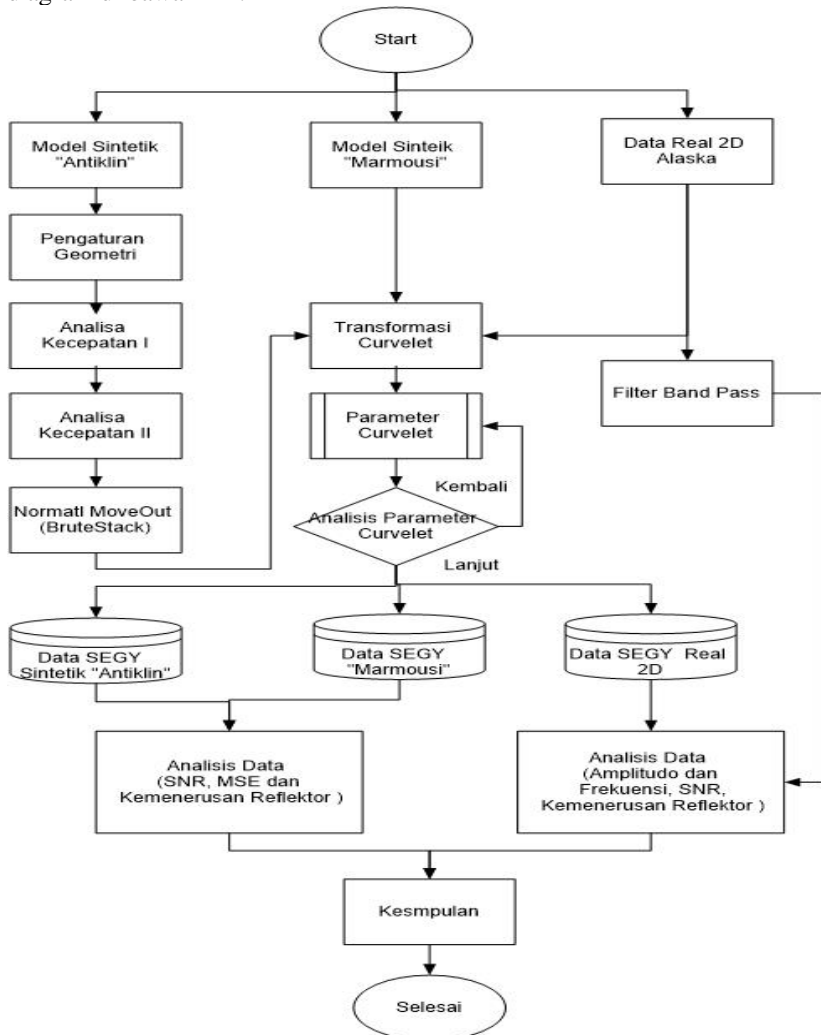
Gambar 2.10 Perbandingan (a)-(c) data sebelum dan data (d)-(f) setelah dilakukan Transformasi Curvelet (Gorszczyk, 2014).

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

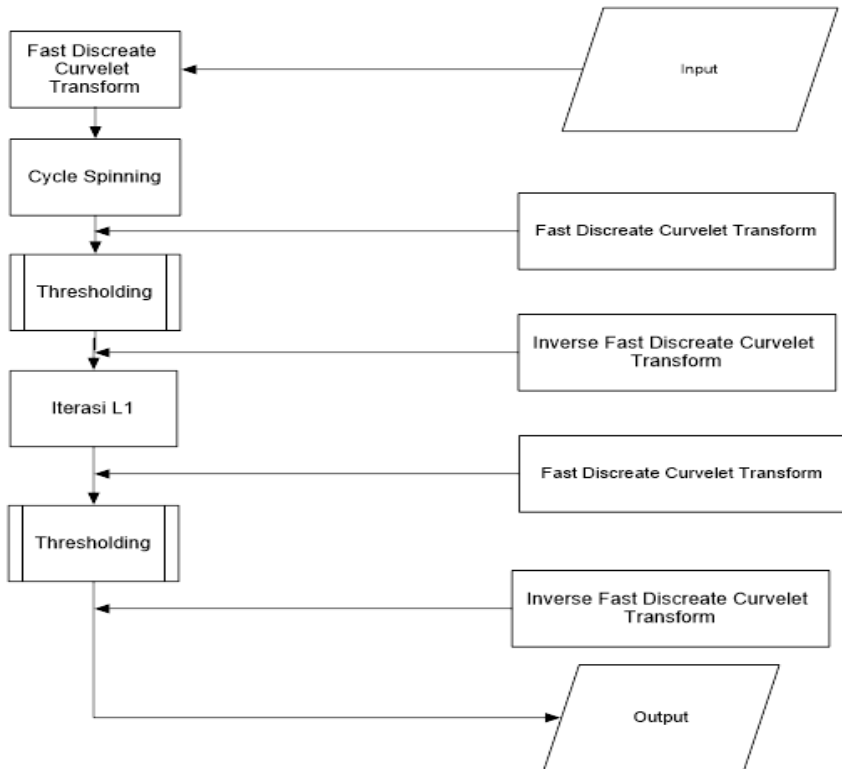
BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Secara garis besar, kegiatan dalam penelitian tugas akhir digambarkan oleh diagram di bawah ini :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Alur Kerja Transformasi Curvelet

Deskripsi Diagram Alur Penelitian (gambar 3.1) :

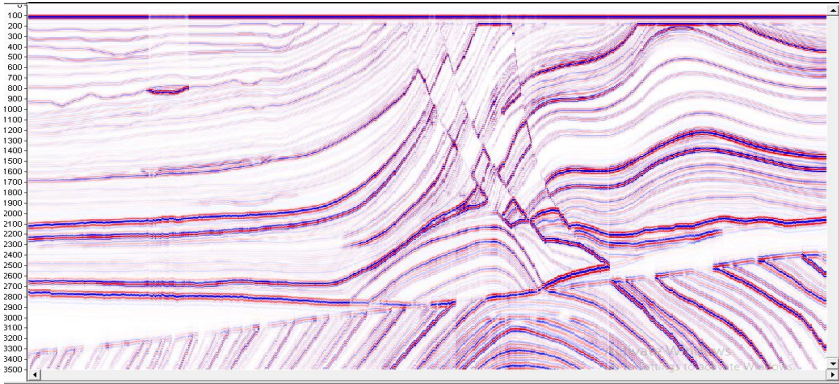
a) **Pengumpulan Data**

a.1) Data Sintetik : dibuat model data seismik sintetik “Antiklin” (gambar 3.5) dengan parameter sebagai berikut :

- 1) Panjang model 5 km,
- 2) Receiver 100 (berpindah, dengan mengikuti letak *shot*[kiri 100 dan kanan 100])
- 3) Shot berjumlah 400
- 4) Akustik Model, Ricker Sinyal 11 Hz,
- 5) *Signal Length* 2 ms

a.2) Data Seismik Sintetik Marmousi

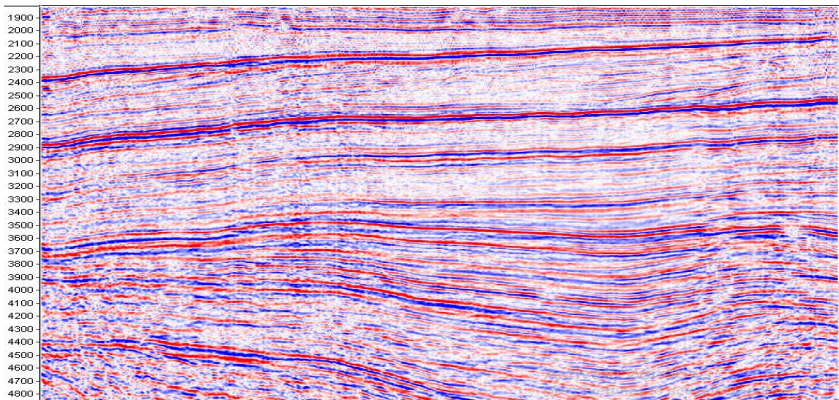
Data seismik sintetik “Marmousi” merupakan model data berdasarkan gambar 2.1 (Martin, 2006) dan dengan kecepatan setiap lapisan berdasarkan tabel 2.1 (Versteeg, 1994). Model tersebut adalah sebagai berikut :



Gambar 3.3 Model seismik sintetik geologi kompleks “Marmousi” (<http://www.agl.uh.edu/downloads/downloads.htm>)

a.3) Data Seismik *Real Post Stack Time Migration 2D* NorthWest Alaska

Data seismik *real* PSTM dengan penampang sebagai berikut :



Gambar 3.4 Data seismik 2D *Post Stack Time Migration* (PSTM) NorthWest Alaska (www.energy.usgs.gov)

b) **Pengolahan dan Analisis Data dan Pembahasan :**

- Pembuatan Model Sintetik “Antiklin”
- Penambahan *Gaussian Noise*
- Uji coba Transformasi Curvelet pada Data Sintetik dan data *real* seismik PSTM NorthWest Alaska (lihat sub bab 3.2.2-3.2.5)
- Analisis nilai SNR pada data seismik sintetik
- Analisis Resolusi Reflektor data seismik sintetik
- Analisis Parameter Curvelet dalam menghilangkan *random noise* dan meningkatkan resolusi reflektor
- Analisis reflektor (Pada Data Seismik Asli 2D Darat : Studi Kasus *Northwest* Alaska
- Analisis Spektrum Amplitudo dan Frekuensi sebelum dan setelah Transformasi Curvelet
- Analisis Perbandingan dengan Filter *Band Pass* (*Test Case*)

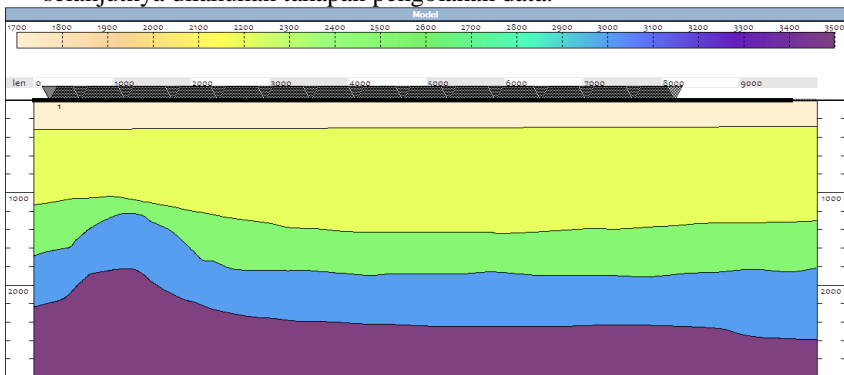
c) **Evaluasi dan Kesimpulan**

Data yang telah diolah akan dievaluasi pada setiap pengolahannya kemudian dibandingkan dengan parameter dan variabel tertentu untuk memilih mana hasil pengolahan yang baik. Data Pengolahan yang telah dipilih akan dilakukan analisis dan pembahasan berdasarkan tujuan penelitian. Setelah itu didapatkan kesimpulan.

3.2 Pengolahan Data

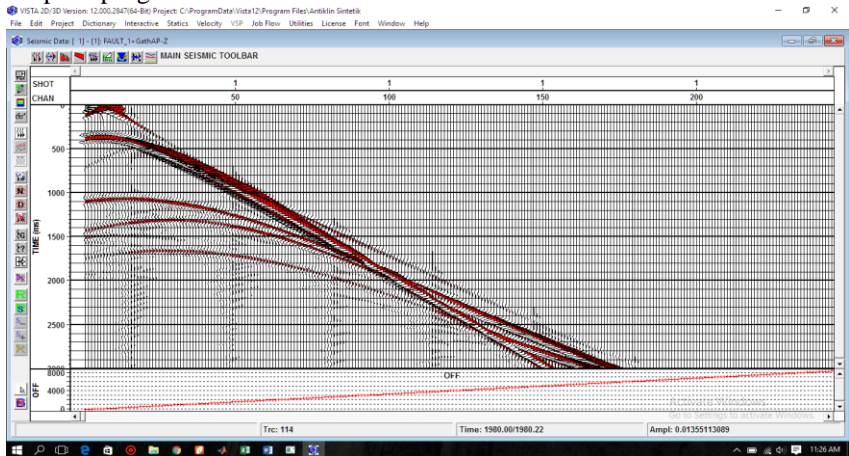
3.2.1 Model Sintetik Antiklin

Pembuatan model sintetik (gambar 3.5) tidak memiliki acuan dan ketentuan. Pembuatan model tersebut membantu dalam keadaan event seismik sebenarnya pada bawah permukaan. Model memiliki panjang 5000 m dan kedalaman 3000 m. Jumlah *shot* dan *receiver* masing-masing 400 dan 100 (dengan arah penembakan *moving with source*). Jenis wavelet adalah ricker dengan frekuensi 11.5 Hz. Setelah dilakukan permodelan, maka selanjutnya dilakukan tahapan pengolahan data.



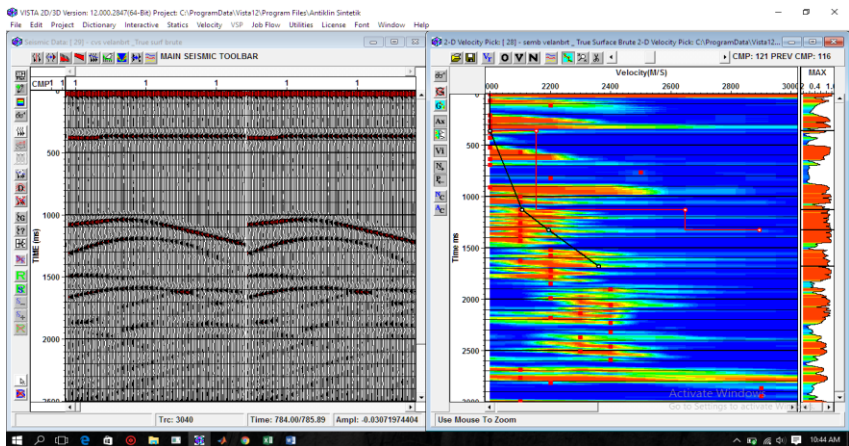
Gambar 3.5 Model Sintetik Pada Uji Coba Transformasi Curvelet

Data sintetis yang telah dibuat pada program *Tesseral*, maka dibuka pada program *Vista*.



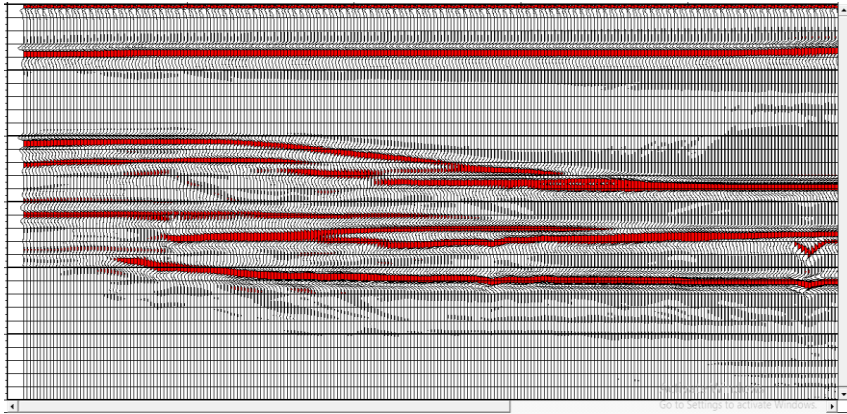
Gambar 3.6 Tampilan Raw Data

Pada gambar 3.6 menampilkan tampilan seismik berdasarkan *shot gather*. Setelah dilakukan pengaturan geometri, kemudian dilakukan analisis kecepatan dengan menggunakan batas kecepatan yaitu 1600-4000 m/s dengan *increment*(selisih) 200 m/s. *Picking* (pemilihan nilai kecepatan lapisan) dilakukan seperti gambar berikut :



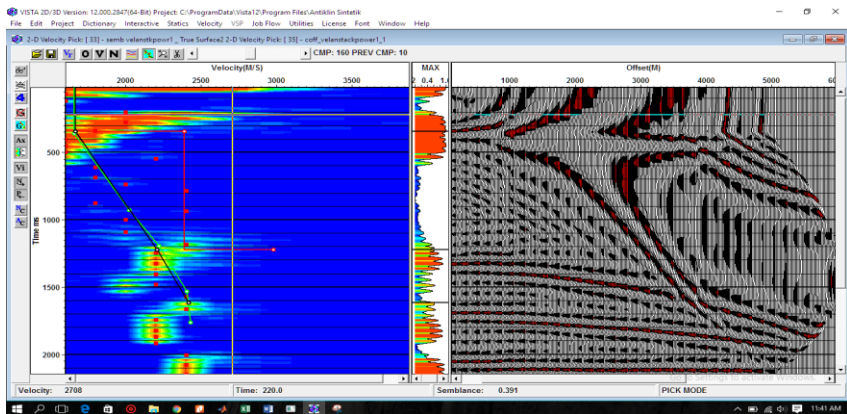
Gambar 3.7 Analisis Kecepatan I dengan *increment* CMP adalah 5.

Kecepatan yang dipilih akan semakin besar sebanding dengan kedalaman lapisan. Garis hitam (pada gambar 3.7 sebelah kanan) merupakan garis hasil *picking* kecepatan pada analisis pertama. Hasil dari analisis kecepatan ini didapatkan model kecepatan, kemudian dilakukan *stacking I* sehingga mendapatkan model awal sebagai berikut



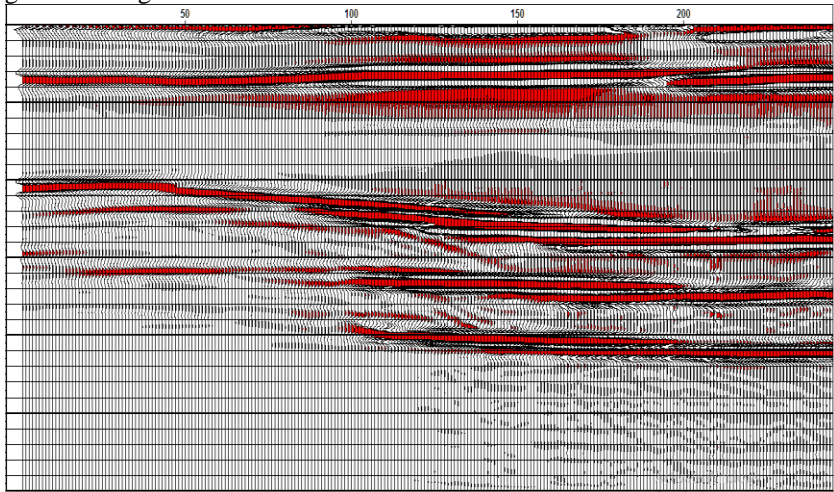
Gambar 3.8 Hasil Model Awal Setelah dilakukan Analisis Kecepatan I

Model awal (gambar 3.8) menunjukkan data yang hampir sama dengan model data sintetik (gambar 3.5). Adanya event yang tidak sama diakibatkan oleh kemampuan *picking* pada analisis kecepatan 1 (gambar 3.7). Oleh Karena itu, dilakukan analisis kecepatan II agar bentuk model lebih sesuai dengan model yang dibuat diawal.



Gambar 3.9 Analisis Kecepatan II. *Semblance* pada gambar semakin jelas.

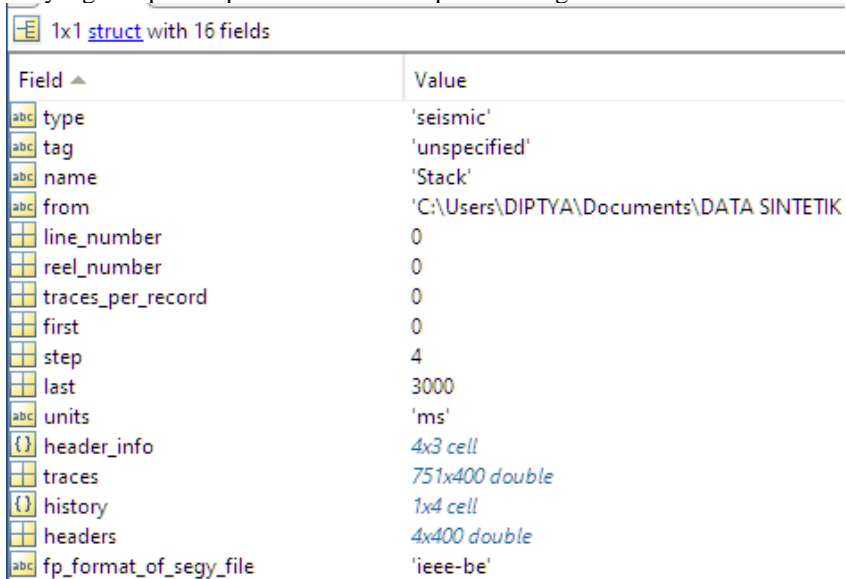
Langkah yang dilakukan pada gambar 3.9 adalah sama dengan proses analisis kecepatan I. Untuk menghasilkan penampang seismik dengan lebih jelas maka dilakukan proses analisis kecepatan II (gambar 3.9) dan menghasilkan gambar sebagai berikut :



Gambar 3.10 Hasil *Stack II* setelah Analisis Kecepatan II

3.2.2 Operasi Transformasi Curvelet (MatLab)

Data seismik yang telah dibaca pada MatLab menggunakan komputasi yang didapatkan pada *SeisLab* ditampilkan sebagai berikut :



Field ▲	Value
type	'seismic'
tag	'unspecified'
name	'Stack'
from	'C:\Users\DIPTYA\Documents\DATA SINTETIK'
line_number	0
reel_number	0
traces_per_record	0
first	0
step	4
last	3000
units	'ms'
header_info	4x3 cell
traces	751x400 double
history	1x4 cell
headers	4x400 double
fp_format_of_segy_file	'ieee-be'

Gambar 3.11 Data seismik dibaca pada MatLab berupa .struct. Terdiri dari informasi (16 *fields*) yaitu *type*, *tag*, *name*, *from*, *line_number*, *reel_number*, *traces_per_record*, *first*, *step*, *last*, *units*, *header_info*, *traces*, *history*, *headers* dan *fp_format_of_segy_file*.

Data yang telah dibaca akan dilakukan kompresi ke dalam bentuk square dengan jumlah baris dan kolom tertentu sesuai dengan cakupan jumlah matriks *traces*. Setelah dilakukan kompresi, maka ditentukan parameter curvelet diantaranya :

- *Finest* : pemilihan skala terbaik, jika 1 adalah curvelet dan 2 adalah wavelet.
- *nbscales* : jumlah skala pada setiap *curvelet*
- *nbangels_coarse*: kekasaran sudut pada *curvelet*
- *nsigmas_coarse* : jumlah *threshold* yang sebanding dengan jumlah *sigma_coarse* dikali *sigma* pada semua skala kecuali pada *finest*.
- *nsigma_fine* : jumlah *threshold* yang sebanding dengan jumlah *sigma_fine* dikali *sigma* pada skala *finest* (*curvelet*).
- *nshift* : jumlah translasi per dimensi pada *cycle spinning*.
- *nell1* : jumlah iterasi ell-1

- *neigh_weight* : jumlah untuk renormalisasi pembebanan dari total akar koefisien

Pada model sintetis, digunakan penambahan *noise gaussian* dan model data asli tidak menggunakan penambahan *noise* karena diasumsikan data asli seismik yang digunakan masih mengandung *noise* walaupun telah dilakukan migrasi waktu. Noise gaussian ditambahkan pada data sintetis dengan bilangan acak, untuk satu jenis model dan digunakan parameter perubahan sigma untuk tingkat noise yang diinginkan. Proses dalam pengolahan data berdasarkan gambar 3.2 yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- **Fast Discrete Curvelet Transform (FDCT)**

Pada proses ini didapatkan nilai koefisien curvelet. Pada proses tersebut terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan yaitu :

1). Dilakukan FFT 2D (*Fast Fourier Transform*) untuk tiap pasangan skala/sudut (j,l) dari tiap susunan $c^{D,N}(j,l,k)$ dan didapatkan $W(U_{j,l}\hat{f})[n_1n_2]$.

2) Dikalikan susunan $W(U_{j,l}\hat{f})[n_1n_2]$ dengan pertimbangan curvelet wrapping $W(U_{j,l})[n_1n_2]$ yang menghasilkan

$$W(|U_{j,l}|^2\hat{f})[n_1n_2],$$

3). *Unwrap* susunan tiap $W(|U_{j,l}|^2\hat{f})[n_1n_2]$ pada grid frekuensi dan ditambahkan nilai dari $W(|U_{j,l}|^2\hat{f})[n_1n_2]$ pada tiap-tiap grid frekuensi sehingga mampu memperoleh kembali $\hat{f}[n_1n_2]$.

4). Dilakukan inverse FFT 2D untuk mendapatkan $f[t_1t_2]$.

- **Cycle Spinning**

Proses ini dilakukan untuk meningkatkan *denoising* (reduksi noise) dengan proses translasi per dimensi pada sinyal dengan variasi *time shift* (pergeseran waktu). Pada proses ini, dilakukan Fast Discrete Curvelet Transform (FDCT) sehingga didapatkan koefisien curvelet terbaru.

- **Threshold**

Proses ini digunakan untuk mengurangi *noise* yang paling sederhana dan menjadi dasar bagi beberapa metode pengurangan *noise* yang lain. *Threshold* akan menghasilkan nilai rekonstruksi dari proses sebelumnya dengan bantuan proses Inverse Fast Discrete Curvelet Transform (IFDCT) , dengan input dari *cycle spinning*.

- **Iterasi Norm L1**

Proses ini digunakan untuk filter *noise* menggunakan penyelesaian gradien konjugasi. Proses iterasi juga dilakukan FDCT untuk mendapatkan koefisien curvelet terbaru, dengan inisial 'D'. Iterasi berdasarkan pada parameter yang telah ditentukan, yaitu pada *nell1*.

- ***Threshold***

Proses ini digunakan untuk mengurangi *noise* yang paling sederhana dan menjadi dasar bagi beberapa metode pengurangan *noise* yang lain. *Threshold* akan menghasilkan nilai rekonstruksi dari proses sebelumnya dengan bantuan proses IFDCT (Inverse Fast Discrete Curvelet Transform).

- **Inverse Fast Discrete Curvelet Transform (IFDCT)**

Proses ini digunakan untuk merekonstruksi ulang gambar. Tidak seperti FDCT, pada proses ini dibuka/dipecah kembali susunan data dari transformasi fourier pada setiap sudut dan skala kedalam trapezoidal. Selanjutnya, dilakukan *windowing* dengan indikator yang sesuai, kemudian dijumlahkan pada masing-masing sudut dan skala dan dilakukan inversi transformasi fourier

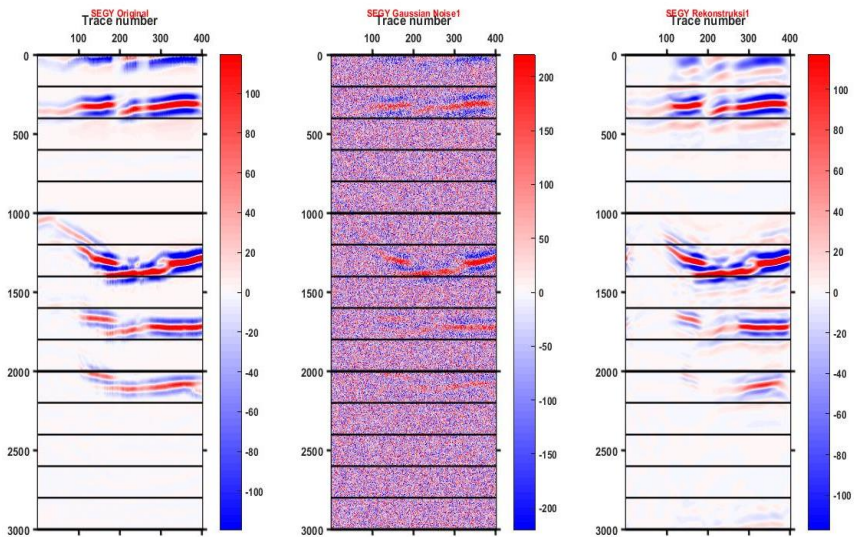
Setelah itu didapatkan nilai output diantaranya *signal to noise ratio* (SNR), koefisien curvelet, *threshold*, dan *mean square error* (MSE). Berdasarkan nilai SNR maka akan didapatkan grafik pada setiap percobaan pada data sintetik. Untuk data seismik asli, maka hanya dilakukan analisis spektrum dan amplitudo dan SNR pada perangkat lunak *Vista 2D/3D Seismic Processing*. Setiap langkah pengolahan transformasi curvelet dapat dilihat pada halaman Lampiran.

3.2.3 Uji Coba Transformasi Curvelet Pada Data Seismik Sintetik “Antiklin”

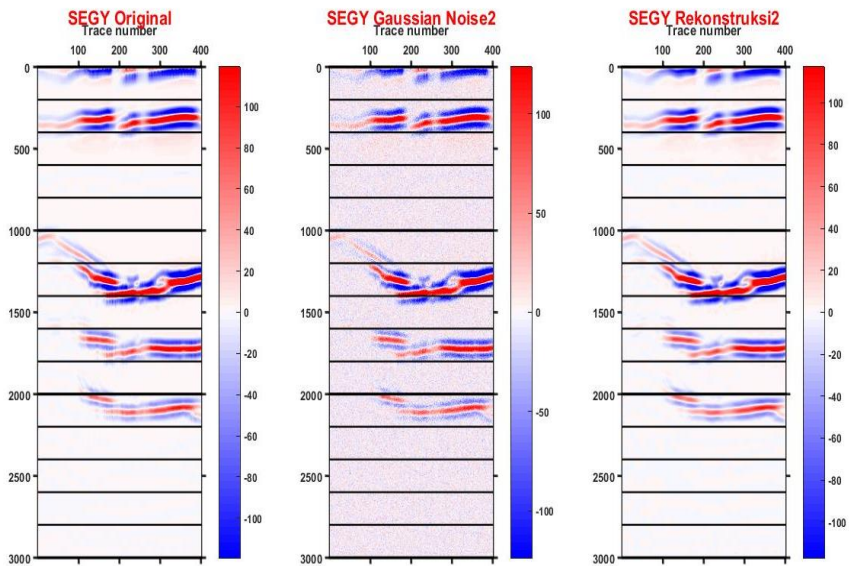
Tabel 3.1 Hasil Percobaan Pada Data Sintetik “Antiklin”. Terdapat 6 percobaan yang telah dilakukan dengan variasi nilai sigma (nilai penambahan *noise*) yang diberikan pada data sintetik “Antiklin” .

Uji Coba	Finest	Scales	Angles Coarse	Sigma coarse	Sigma Fine	Shift (Jumlah Translasi per Dimensi)	Weighting	Tuning Neighbor	Sigma (noise)	SNR/NOISY	SNR RESTORED
1	1	7	8	3	10	1	1	0.6	255	203808	27186
2	1	7	8	3	10	1	1	0.6	255	259495	267162
3	1	7	8	3	10	1	1	0.6	255	25	26
4	1	7	8	3	10	1	1	0.6	200	194833	271045
5	1	7	8	3	10	1	1	0.6	382.5	194712	277824
6	1	7	8	3	10	3	1	0.6	510	1988	28579

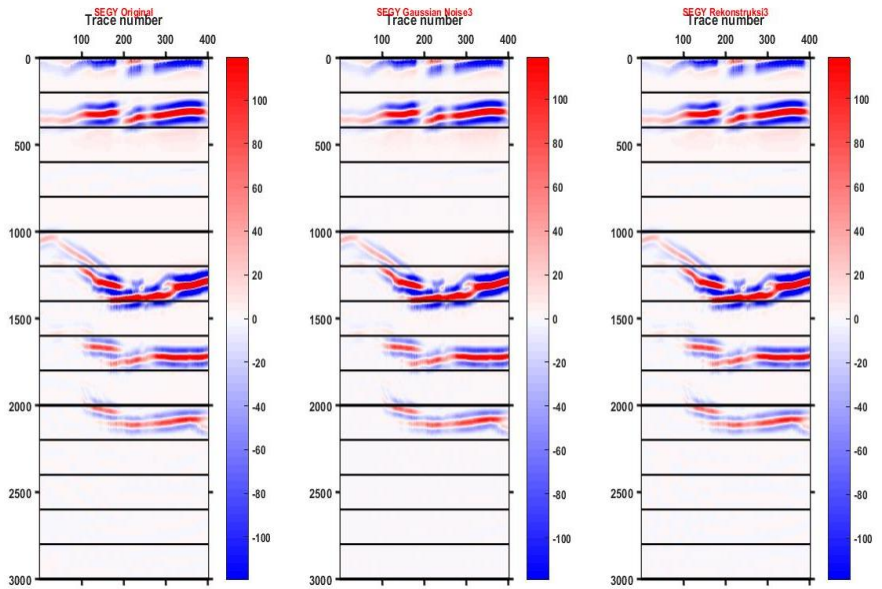
Data sintetik “Antiklin” akan ditambahkan *gaussian noise* untuk menguji coba seberapa jauh kemampuan transformasi curvelet untuk merekonstruksi kembali data seismik. Berikut informasi data sintetik pada *MatLab* Hasil uji coba adalah sebagai berikut :



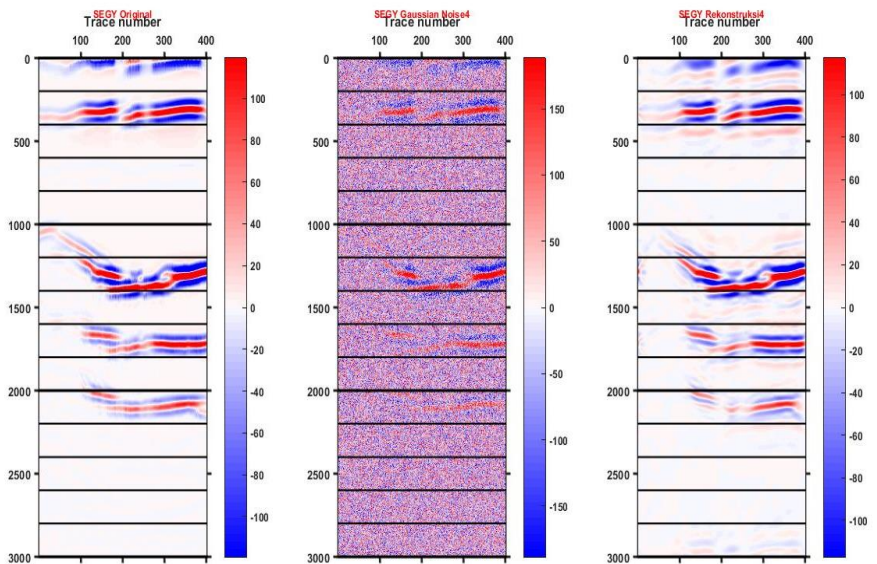
Gambar 3.12 Hasil Uji Coba 1 dengan sigma 255



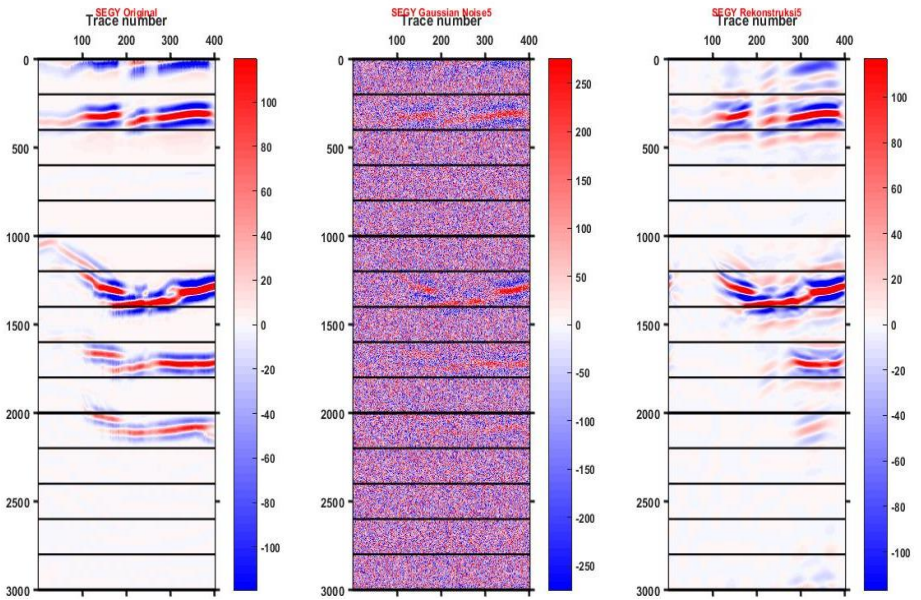
Gambar 3.13 Hasil Uji Coba 2 dengan sigma 25.5



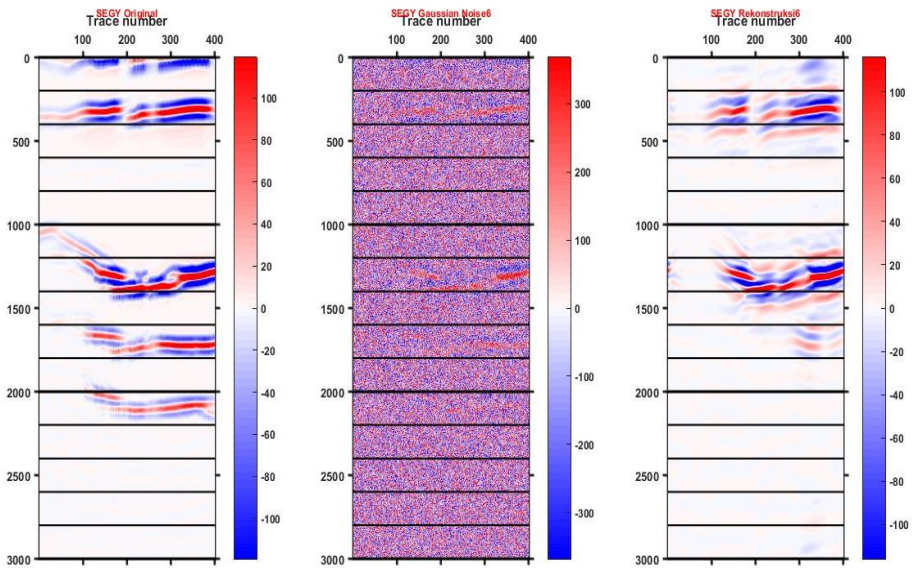
Gambar 3.14 Hasil Uji Coba 3 dengan sigma 2.55



Gambar 3.15 Hasil Uji Coba 4 dengan sigma 200



Gambar 3.16 Hasil Uji Coba 5 dengan sigma 382.5 atau 1.5×255



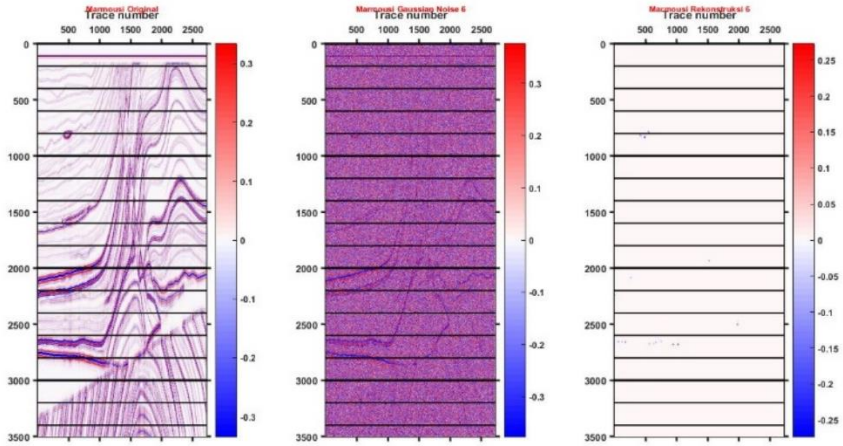
Gambar 3.17 Hasil Uji Coba 6 dengan sigma 510 atau 2×255

3.2.4 Uji Coba Transformasi Curvelet Pada Data Seismik Sintetik “Marmousi”

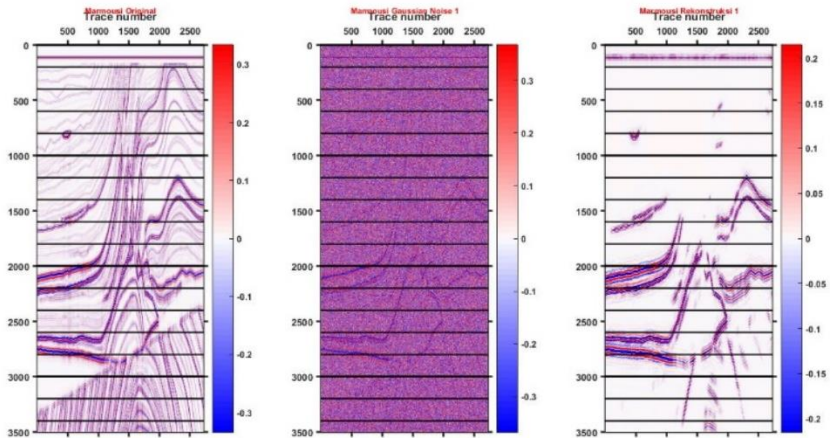
Tabel 3.2 Parameter yang digunakan dalam Uji Coba Transformasi Curvelet Pada Data Sintetik “Marmousi”

No	Finest	nbscales	angles_coarse	sigma_coarse	sigma_fine	nshift	weighting	tuning_neighbor	sigma	SNR Noisy	SNR Restored
1	1	3	8	3	10	3	8	10	0.255	16.1615	17.7596
2	1	6	8	3	10	3	8	10	0.255	15.2937	21.9072
3	1	9	8	3	10	3	8	10	0.255	16.4181	21.9233

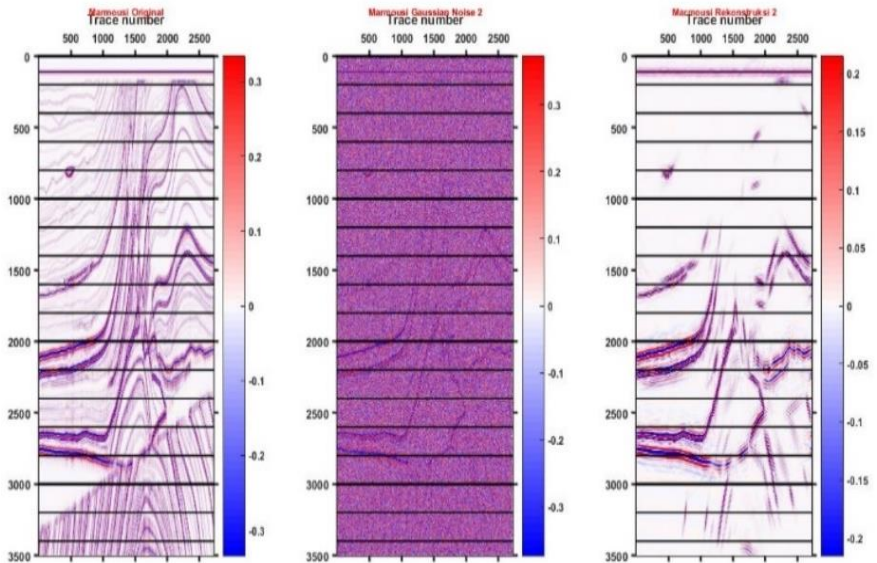
Percobaan ini menggunakan variasi skala yang mampu memengaruhi nilai koefisien curvelet sedangkan nilai *gaussian noise* dibuat sama sehingga nanti akan diketahui bagaimana pengaruh skala terhadap peningkatan *signal to noise ratio* (SNR) kemudian bagaimana nilai skala yang baik sehingga dapat dijadikan parameter acuan. Hasil pengolahan data “Marmousi” yang dilakukan dengan 3 kali percobaan adalah sebagai berikut :



Gambar 3.18 Model Marmousi (a) (Martin, 2006) Data Original, (b) model dengan tambahan *Gaussian Noise* sigma 0.255, dan (c) Rekonstruksi Gambar tidak menunjukkan reflektor yang baik



Gambar 3.19 Model Marmousi (a) (Martin, 2006) Data Original, (b) model dengan tambahan *Gaussian Noise* sigma 0.255, dan (c) Rekonstruksi Gambar dilakukan cukup baik



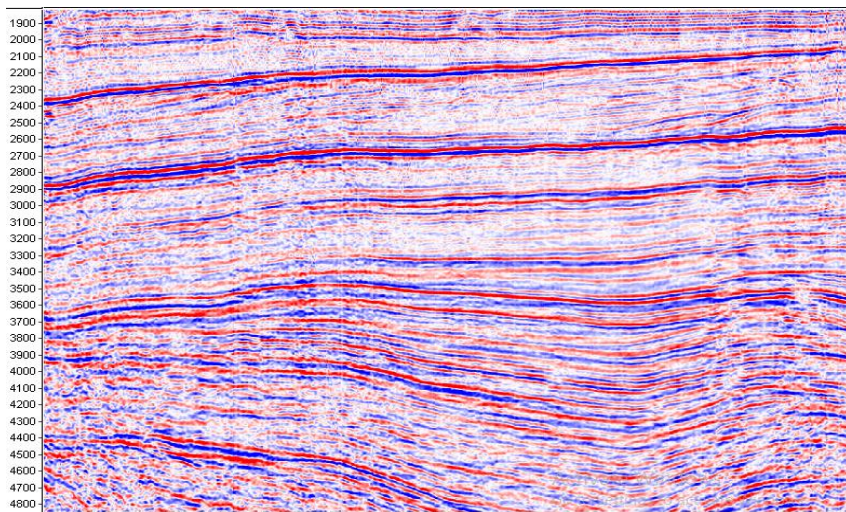
Gambar 3.20 Model Marmousi (a) (Martin, 2006) Data Original, (b) model dengan tambahan *Gaussian Noise* sigma 0.255, dan (c) Rekonstruksi Gambar memperlihatkan semakin kabur pada reflektor *time window* 250-1000 ms.

3.2.5 Uji Coba Transformasi Curvelet Pada Data Seismik 2D Asli (*North West Alaska*)

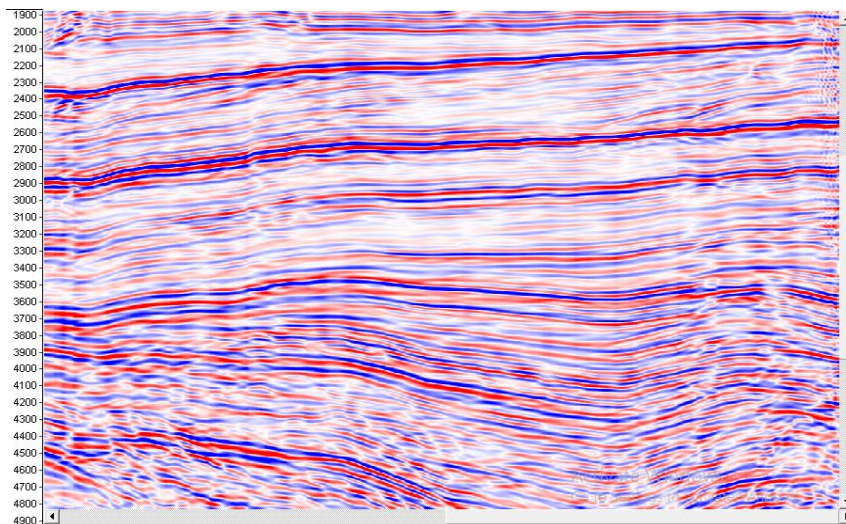
Seismik 2D yang digunakan adalah data *Final Stack* dengan beberapa langkah-langkah pengolahan data yang telah dilakukan. Jarak CDP adalah 10 m dengan *sample rate* 2 milidetik. Sebelumnya telah dilakukan filter *time Variant* pada 12-55 Hz pada 1000 milidetik kemudian *band pass filter* dan *deconvolution* serta analisis kecepatan 1 dan migrasi waktu. Pada uji coba ini, data akan dilakukan filter pada *noise* acak yang terdapat pada reflektor. Berikut hasil percobaan pada data seismik 2D asli PSTM :

Tabel 3.3 Hasil Percobaan Parameter Pada Transformasi Curvelet 2D untuk Data Seismik PSTM (*Post Stack Time Migration*).

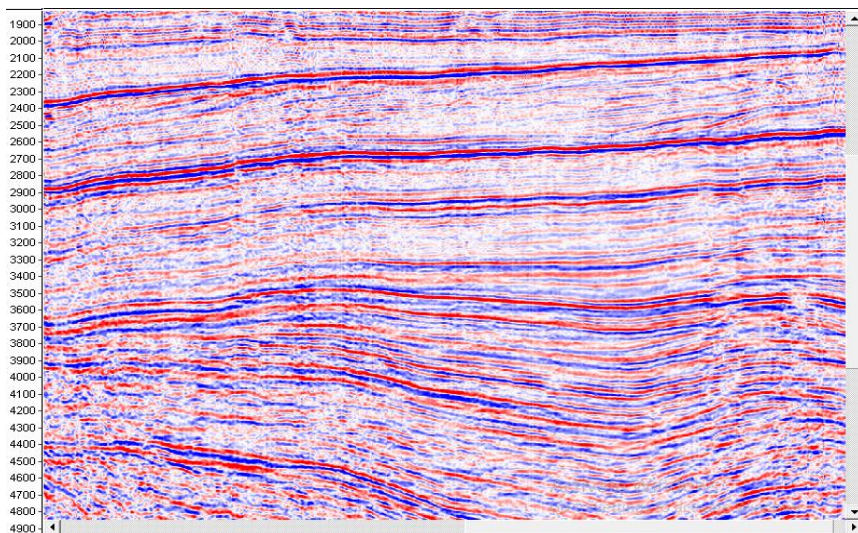
No	Finest	Scales	Angles Coarse	Sigma coarse	Sigma Fine	nell1	Shift	Weighting	Tuning Neighbor	SNR	Time Elapsed (s) (tergantung RAM)	Ket
1	1	3	8	3	10	2	3	2	2	6.4596	1951.3645	kurang
2	1	3	8	3	10	2	3	8	10	2.0963	1491.1505	hasil baik
3	1	6	8	3	10	2	3	8	10	2.4272	1293.8755	kurang
4	1	9	8	3	10	2	3	8	10	2.6647	1215.2188	kurang
5	1	1	8	3	10	2	3	8	10	1.7283	281.7569	kurang
6	2	3	8	3	10	2	3	8	10	1.2904	474.0491	kurang
7	1	3	8	3	10	2	3	8	8	2.5979	41.5498	cycle-nya 3nshift (kurang)
8	1	3	8	3	10	2	1	8	10	-3.886	41.4275	noise 1 kali 255 (hasil baik)



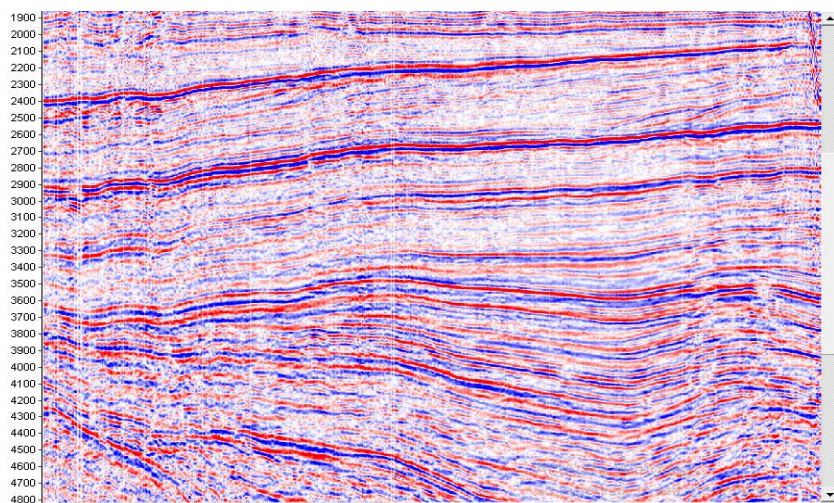
Gambar 3.21 Data Stack Seismik hasil Percobaan (1). Data masih memiliki *random noise* yang mempunyai nilai frekuensi sama dengan sinyal seismik



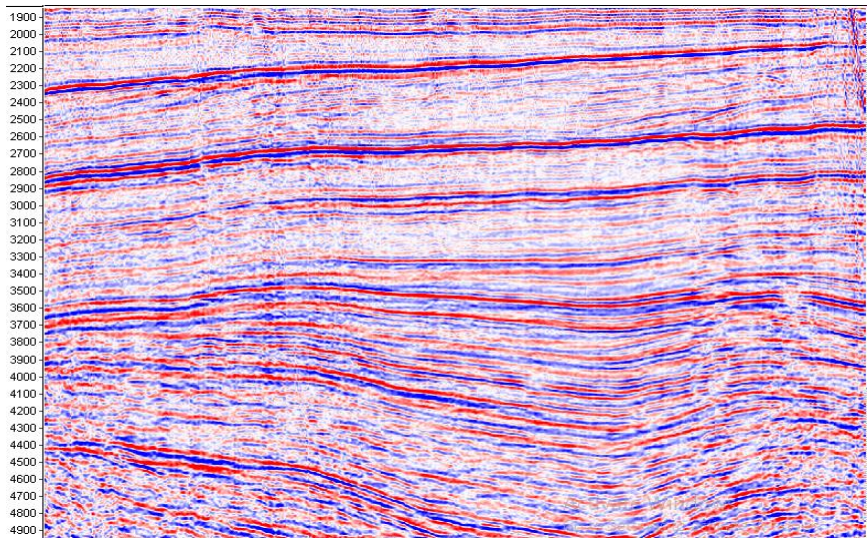
Gambar 3.22 Data Stack Seismik Setelah dilakukan percobaan (2). Data memiliki resolusi vertikal yang baik dan telah hilang *random noise* pada sinyal.



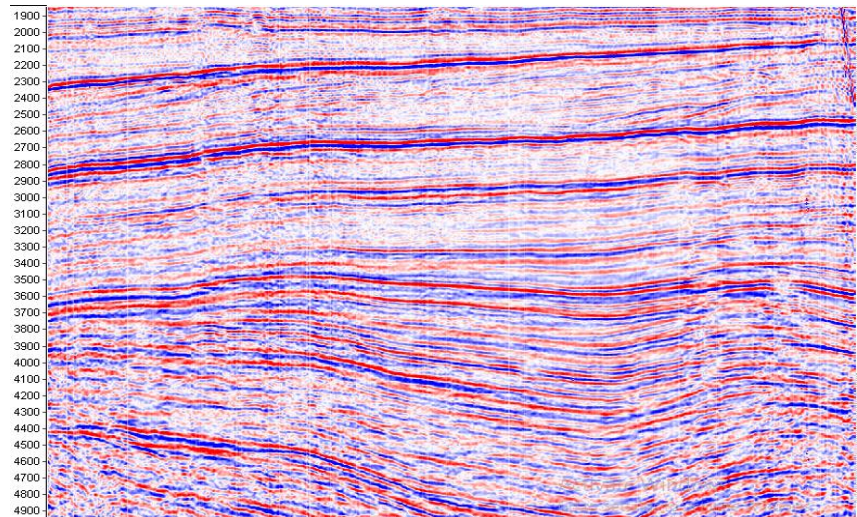
Gambar 3.23 Data Stack Seismik Setelah dilakukan Percobaan (3). Data memiliki resolusi dan kontras yang baik dan telah hilang *random noise* pada sinyal.



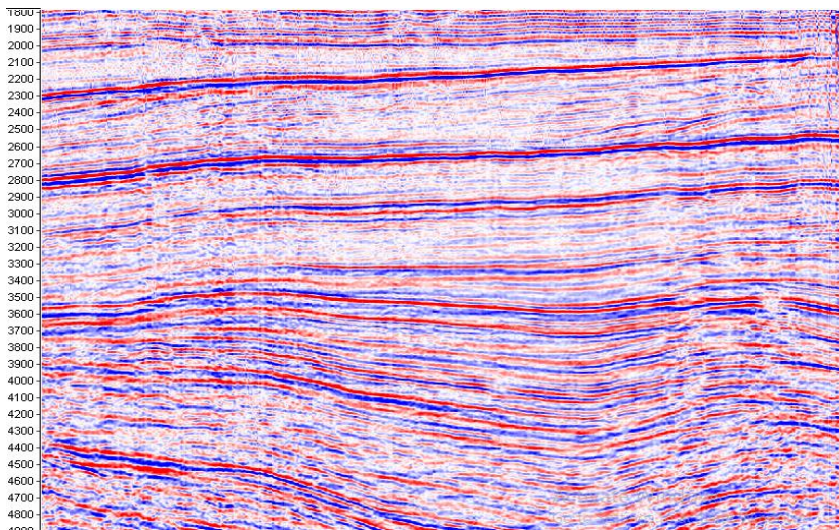
Gambar 3.24 Data Stack Seismik Setelah dilakukan Percobaan (4). Data memiliki resolusi dan kontras tidak jauh dengan data asli sebelum transformasi curvelet.



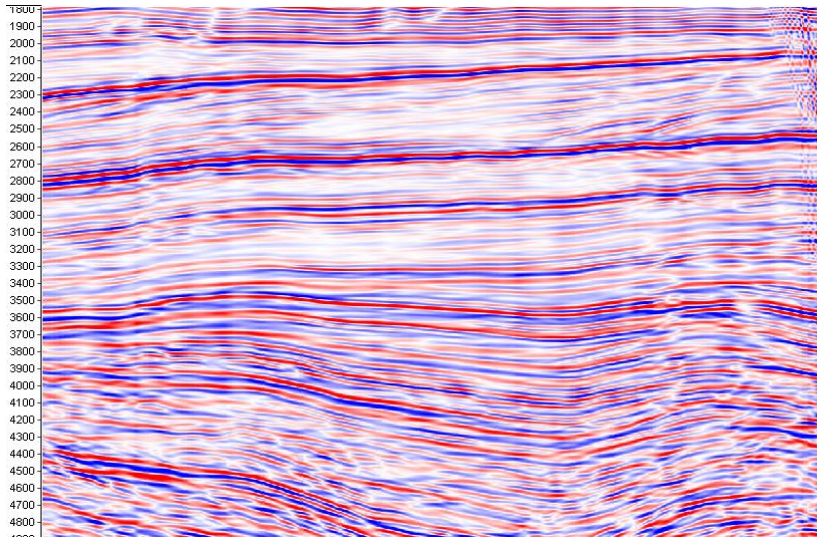
Gambar 3.25 Data Stack Seismik Setelah dilakukan Percobaan (5). Data memiliki resolusi dan kontras tidak jauh dengan data asli sebelum transformasi curvelet.



Gambar 3.26 Data Stack Seismik Setelah dilakukan Percobaan (6). Data memiliki resolusi dan kontras tidak jauh dengan data asli sebelum transformasi curvelet.



Gambar 3.27 Data Stack Seismik Setelah dilakukan Percobaan (9). Data memiliki resolusi dan kontras tidak jauh dengan data asli sebelum transformasi curvelet.



Gambar 3.28 Data Stack Seismik Setelah dilakukan Transformasi Curvelet (13). Data memiliki resolusi dan kontras yang sama pada percobaan (2).

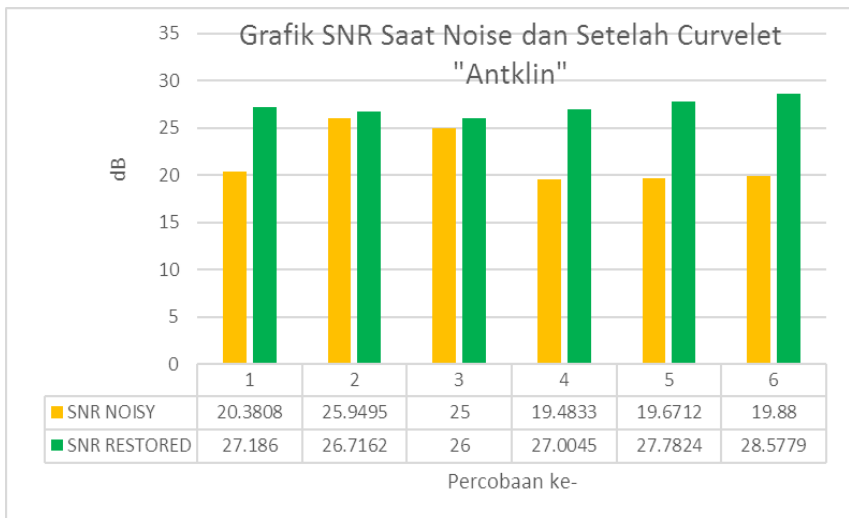
Pada data *real* seismik 2D tersebut tidak menggunakan *gaussian noise*. Karena diasumsikan bahwa data tersebut masih memiliki *noise* dengan jenis *noise* acak. Data awal (gambar 3.19) memperlihatkan reflektor yang kurang jelas dan setelah dilakukan transformasi (gambar 3.20 hingga 3.26) maka terdapat beberapa hasil yang baik. Koefisien curvelet terbukti mampu memetakan sinyal non-koheren pada koefisien bernilai kecil dan sinyal koheren pada koefisien bernilai besar.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Perbandingan *Signal to Noise* Pada Data Sintetik Sebelum dan Sesudah Transformasi Curvelet

Data sintetik pada “Marmousi” dan “Antiklin” telah diuji coba dengan parameter tertentu sehingga menghasilkan nilai SNR yang berbeda. Berdasarkan tabel pada bab 3, maka didapatkan grafik perbandingan SNR dengan perlakuan data yang ditambahkan *noise* (SNR *noisy*) dan data setelah dilakukan transformasi curvelet (SNR *Restored*) pada data seismik sintetik “Antiklin” dan “Marmousi” sebagai berikut :

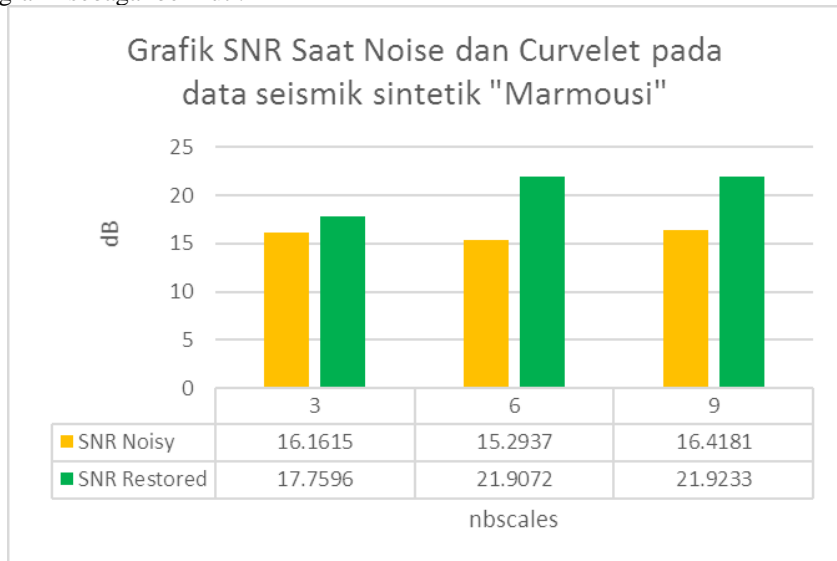


Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) pada data saat ditambahkan *gaussian noise* dan setelah dilakukan transformasi curvelet.

Grafik di atas menunjukkan peningkatan nilai SNR setelah dilakukan transformasi curvelet. Data seismik sintetik “Antiklin” curvelet dilambangkan warna hijau sedangkan data yang ditambahkan *noise* dilambangkan dengan warna oranye. Berdasarkan persamaan 2.8, data *noisy* memiliki nilai SNR antara 19 hingga 25 dB. Pada data setelah curvelet memiliki nilai SNR antara 27 hingga 28 dB. Gambar 4.1 terdiri dari beberapa percobaan. Pada percobaan pertama, nilai sigma pada data *noisy* tinggi (255) sehingga nilai SNR *noisy* pada data seismik sintetik menjadi rendah (20,3808 dB). Pengaruh *noise* pada data sintetik juga menyebabkan nilai SNR *noisy* bernilai antara 19-20 dB (pada percobaan

1,4,5, dan 6). Pada percobaan kedua dan ketiga, data hanya memiliki nilai sigma sebesar 2.5 dan 25.5 sehingga nilai SNR *noisy* tidak rendah (karena data yang buruk sedikit, sehingga pembacaan SNR hampir sama dengan nilai SNR data sebelum ditambahkan *noise*). Berdasarkan gambar 4.1, transformasi curvelet mampu meningkatkan nilai SNR lebih tinggi sehingga rekonstruksi reflektor pada data seismik dapat dikembalikan (lihat sub bab 3.2.2) meskipun tidak seutuhnya kembali seperti awal. Atenuasi *noise* pada data sintetis “Antiklin” dapat ditekan sehingga hasil data mampu menunjukkan reflektor yang sesungguhnya.

Pada data seismik sintetis “Marmousi” menghasilkan nilai berdasarkan grafik sebagai berikut :



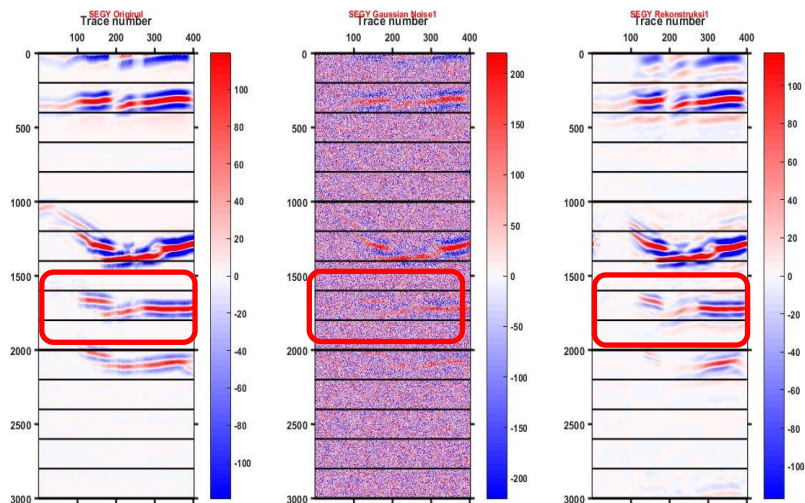
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) pada data saat ditambahkan *gaussian noise* dan setelah dilakukan transformasi curvelet. Terlihat peningkatan yang lebih tinggi terhadap nilai SNR terhadap nilai *nb scales*.

Gambar 4.2 menampilkan grafik percobaan model sintetis marmousi (lihat hasil pada sub bab 3.2.4). Grafik di atas menunjukkan bahwa pengaruh parameter *nb scales* terhadap nilai SNR. Data SNR *noisy* memiliki nilai antara 15-16 dB sedangkan pada nilai SNR curvelet (*restored*) memiliki nilai antara 17-21 dB. Kondisi model yang termasuk dalam model geologi kompleks membuat transformasi lebih sulit dilakukan sehingga reflektor pada data “Marmousi” tidak dapat dikembalikan secara sempurna. Hasil percobaan diatas menunjukkan bahwa kontras *noise* acak yang semakin besar maka nilai *signal to noise ratio*

(SNR) akan semakin kecil. Kemampuan Curvelet dalam mengembalikan reflektor data awal semakin kurang baik.

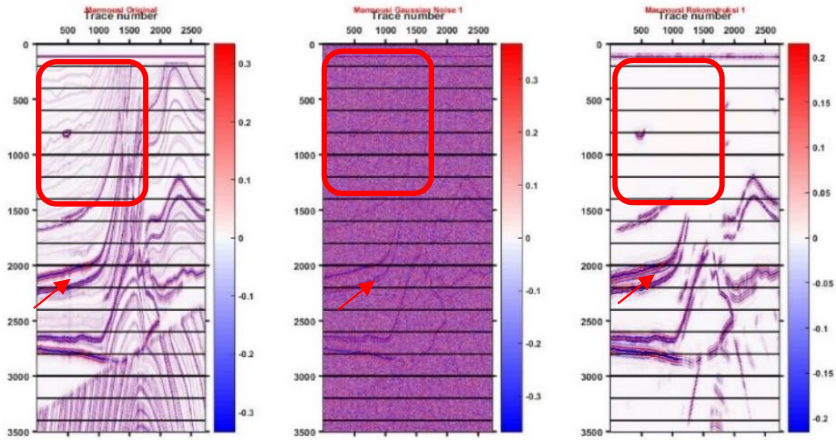
4.1.1 Analisis Kemenerusan Reflektor pada Data Seismik Sintetik

Data seismik sintetik yang telah ditambahkan *gaussian noise* membuat reflektor pada data menjadi tidak jelas. Berdasarkan hasil transformasi curvelet pada kedua data seismik sintetik “Antiklin” adalah sebagai berikut :



Gambar 4.3 Reflektor seismik sintetik “Antiklin” pada *time window* 1000-200 ms menunjukkan rekonstruksi yang baik (kotak merah).

Gambar 4.3 menampilkan data percobaan pertama (gambar 3.10 pada sub bab 3.2.3 dengan model data sintetik pada gambar 3.3 dan 3.8) dimana reflektor pada data seismik sintetik “Antiklin” dapat dikembalikan dengan baik. Pada bagian reflektor dengan *time window* 1000-2000 ms dapat dikembalikan sedangkan pada >2000 ms reflektor tidak dapat dikembalikan dengan baik. Nilai *noise* yang digunakan menjadi halangan dalam proses transformasi. Kotak merah pada gambar 4.3 menandakan kemampuan curvelet dalam mengembalikan *event* seismik meskipun tidak sepenuhnya reflektor kembali seperti data awal (gambar kiri, pada gambar 4.3). Kemenerusan reflektor dapat dikembalikan secara lebih baik apabila nilai *noise* yang ditambahkan kecil (percobaan kedua dan ketiga, gambar 3.11 dan 3.12). Percobaan transformasi curvelet juga menghasilkan data rekonstruksi yang cukup baik pada data sintetik “Marmousi” sebagai berikut :



Gambar 4.4 Rekonstruksi reflektor pada data seismik sintetik “Marmousi”. Reflektor semu (kotak merah) hilang tertutup oleh *noise*. Saat dilakukan curvelet, maka yang tersisa adalah reflektor yang dominan. Panah merah menunjukkan kemampuan curvelet dalam mengembalikan reflektor pada time window 2000-2300 ms dengan baik.

Pada model sintetik “Marmousi” (gambar 4.4) ini belum dapat mengembalikan reflektor dengan baik karena nilai *noise* yang melebihi nilai piksel pada data asli. Terlihat pada penampang seismik bagian tengah hampir seluruh penampang tertutup oleh *noise* dan secara penglihatan hanya beberapa reflektor yang terlihat sehingga mengecilkan kemampuan curvelet dalam rekonstruksi ulang reflektornya. Nilai SNR pada data *noisy* seismik sintetik “Marmousi” juga memperlihatkan data yang tertutup oleh piksel *noise* (lihat gambar 4.2 untuk nilai SNR). Peningkatan untuk merekonstruksi sinyal pada gambar setelah transformasi dibandingkan dengan data awal dapat dikatakan baik (tanda panah merah) meskipun terdapat beberapa sinyal yang hilang (kotak merah). Atenuasi *noise* pada kondisi geologi tertentu perlu dilakukan penelitian yang lebih lanjut sehingga permasalahan atenuasi pada geologi kompleks (Marmousi) dan lain-lain dapat diselesaikan dengan baik.

4.2 Analisis Parameter Curvelet Pada Data Sintetik “Marmousi” dan “Antiklin”

Parameter yang digunakan pada data sintetik “Antiklin” dan “Marmousi” memiliki kriteria yang berbeda; pada data model seismik sintetik “Antiklin” menggunakan variasi nilai *gaussian noise* (lihat tabel 3.1) dan pada data “Marmousi” menggunakan variasi nilai *nbscales* (lihat tabel 3.2). Berdasarkan grafik gambar 4.2 bahwa semakin besar nilai *nbscales* maka nilai SNR akan

semakin besar. Namun, saat dilakukan percobaan parameter dengan kelipatan 2, bukan 3 pada parameter *nbscales*, maka terjadi nilai *infinity* pada SNR sehingga kelipatan 2 tidak dapat digunakan pada parameter *nbscales*. Sedangkan pada nilai SNR dan *error*, didapatkan bahwa semakin tinggi nilai SNR maka akan semakin kecil nilai *error*. Berdasarkan dari parameter *nbscales*, uji coba data (sub bab 3.2.2 dan 3.2.3) serta grafik SNR (gambar 4.1 dan 4.2) maka dapat diambil parameter terbaik yaitu pada nilai *nbscales* 3. Pada data seismik sintetik “Antiklin” menggunakan *nbscales* bernilai 7 menghasilkan nilai SNR yang hampir konstan sehingga dapat diambil parameter yang baik yaitu sebagai berikut :

Tabel 4.1 Parameter yang digunakan dalam pengolahan data seismik 2D PSTM.

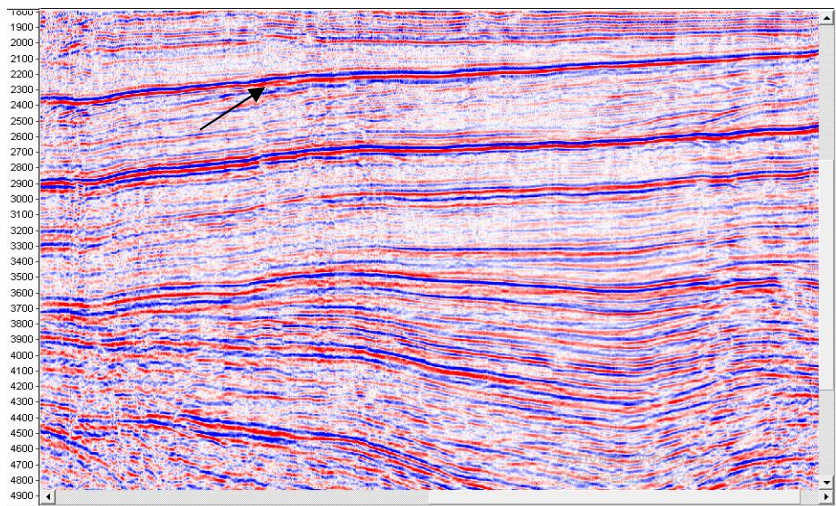
Finest	Scales	Angles Coarse	Sigma Coarse	Sigma Fine	nell1	Shift (Jumlah Translasi per Dimensi)	Weighting	Tuning Neighbor
1	3	8	3	10	2	3	8	10

Tabel 4.1 menjelaskan bahwa untuk nilai *finest* adalah curvelet (bernilai 1), nilai *scales* adalah 3, *angles coarse* bernilai 8, *sigma coarse* dan *sigma fine* yaitu 3 dan 10, jumlah iterasi *L1 norm* adalah 2, jumlah *shift* untuk *cycle spinning* adalah 3, jumlah pembebanan pada koefisien curvelet bernilai 8 dan nilai *tuning neighbor* adalah 10. Sehingga parameter diatas digunakan pada atenuasi *noise* acak pada data seismik 2D PSTM.

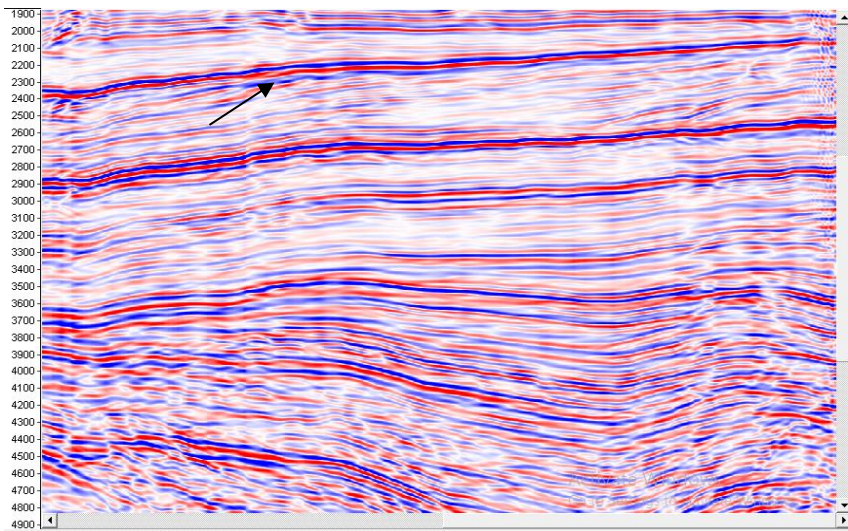
4.3 Analisis Transformasi Curvelet pada Data Seismik 2D Darat Alaska

4.3.1 Analisis Kemenerusan Reflektor Seismik

Tampilan resolusi reflektor pada penampang seismik *post stack migration* lebih jelas setelah dilakukan transformasi curvelet. Kemenerusan reflektor yang ditunjukkan pada panah hitam (gambar 4.5) menunjukkan kemenerusan reflektor yang lebih halus. Hal ini dibuktikan pada gambar dibawah ini :



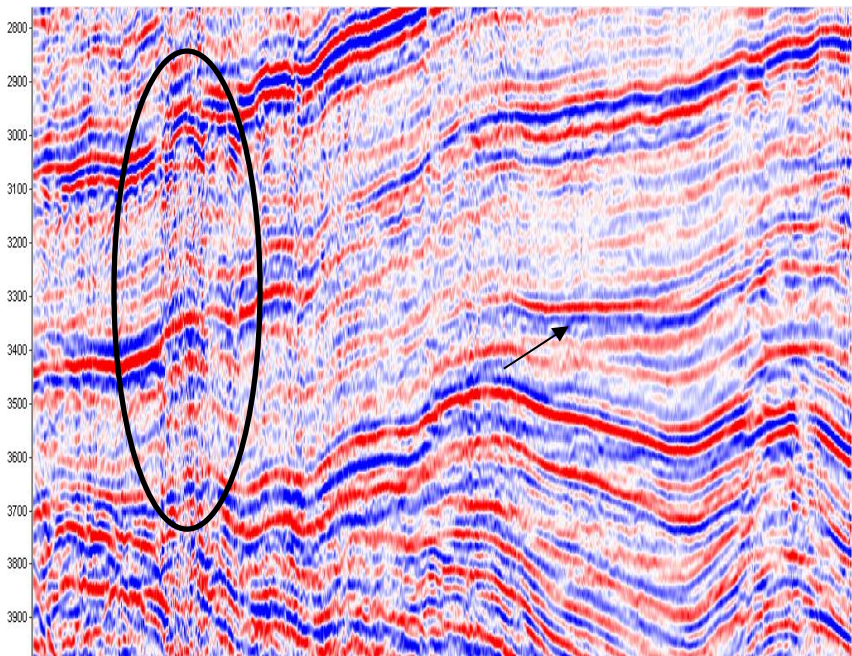
(a)



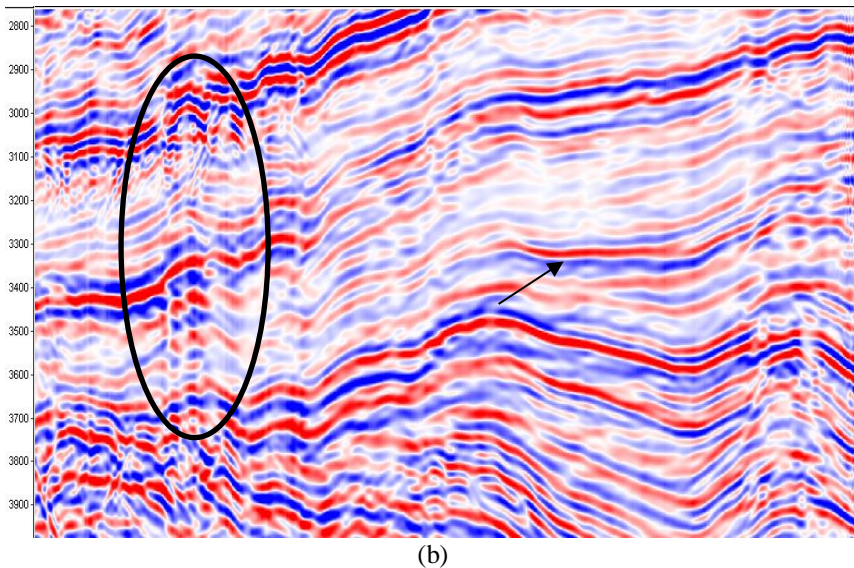
(b)

Gambar 4.5 Penampang seismik sebelum (a) dan setelah (b) dilakukan transformasi curvelet. Gambar merupakan data awal (a) dan hasil percobaan kedua(b) dari pengolahan data (lihat sub bab 3.2.5). Panah hitam menunjukkan perbedaan kontras reflektor yang lebih tajam dan halus dari yaitu pada gambar (b)

Berdasarkan gambar 4.5, hasil transformasi menunjukkan tampilan yang jelas pada gambar (b). Kontras gambar (b) menampilkan sinklin pada jendela waktu 3600 hingga 4400 ms dengan lebih baik dan jelas daripada gambar (a). Panah hitam menampilkan *event* yang lebih baik dari sebelumnya (gambar (a)). Kemudian pada jendela waktu antara 2800-3000 ms, resolusi horizontal pada penampang seismik (gambar (a)) belum mampu ditampilkan secara jelas dan setelah dilakukan transformasi maka resolusi dapat menampilkan secara jelas. Untuk lebih jelasnya tentang adanya dua reflektor yang terpisah, maka penampang seismik tersebut diperbesar berdasarkan gambar dibawah ini :



(a)

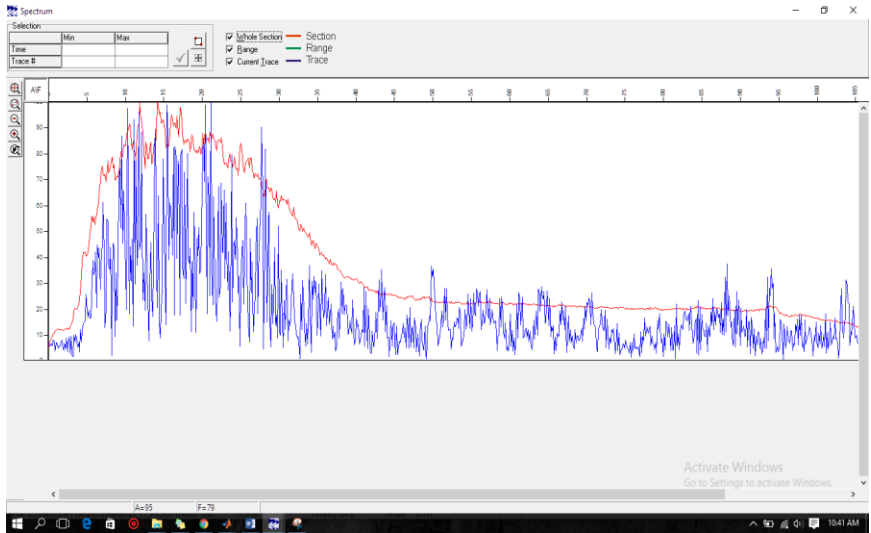


Gambar 4.6 Kontras reflektor seismik pada *time window* 2800-3000 ms setelah *zoom in*. Pada gambar (a) terlihat masih terdapat guratan dan pada gambar (b) guratan telah hilang (yang ditunjukkan dengan lingkaran hitam). Pada panah hitam menunjukkan perbedaan kontras pada bagian sinklin.

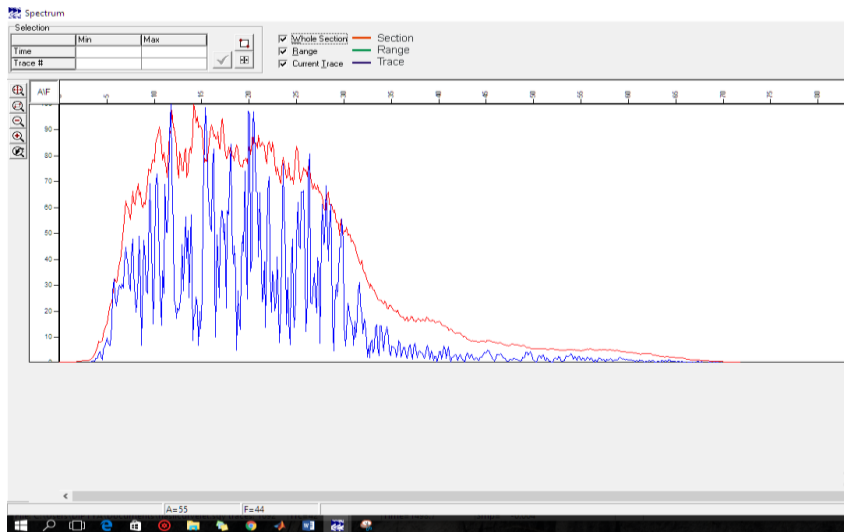
Peningkatan resolusi yang lebih tajam pada gambar 4.6 bagian (b) mampu menunjukkan lebih jelas kemenerusan reflektor dan struktur sinklin (panah hitam) dan antiklin serta patahan (lingkaran). Hasil tersebut mampu membantu meningkatkan pengamatan batas lithologi pada penampang seismik sebelum dilakukan pengolahan selanjutnya. Dengan menggunakan transformasi curvelet, maka dapat meminimalkan langkah-langkah pengolahan data seismik, khususnya seismik 2D darat sehingga proses yang dihasilkan dapat lebih cepat dan efisien.

4.3.2 Analisis Spektrum Amplitudo dan Frekuensi

Secara kualitatif pada sub bab 4.3.1 (gambar 4.5 dan 4.6) menjelaskan bahwa penampang seismik di atas telah memperlihatkan tampilan yang baik. Data kuantitatif dapat ditunjukkan dengan menampilkan grafik spektrum Frekuensi dan Amplitudo pada software *SeiSee*. Berikut perbedaan grafik sebelum dan setelah dilakukan transformasi curvelet :



Gambar 4.7 Tampilan Spektrum Amplitudo pada Data sebelum Transformasi Curvelet.

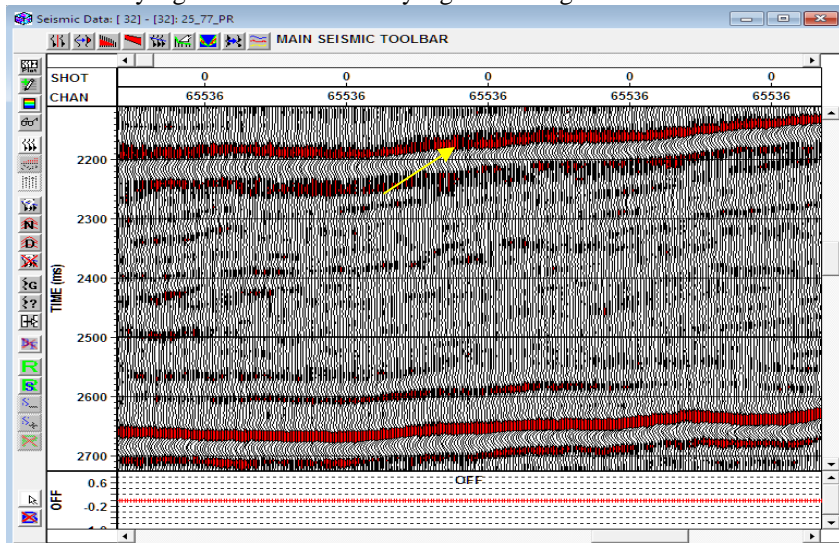


Gambar 4.8 Tampilan Spektrum Amplitudo pada Data Setelah Transformasi Curvelet.

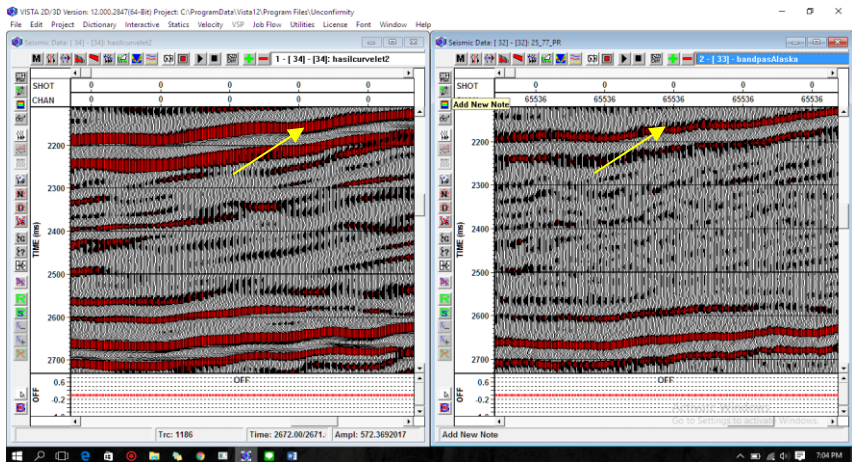
Event penampang seismik yang dihasilkan setelah tahap transformasi curvelet menghasilkan kemenerusan reflektor lebih halus dengan melemahnya sinyal non-koheren dan meningkatnya sinyal koheren pada reflektor seismik. Rentang nilai frekuensi pada data sebelum transformasi adalah 10-105 hz (gambar 4.7) dan sesudah dilakukan transformasi adalah 5-60 hz (gambar 4.8). Frekuensi dan amplitudo dominan adalah bernilai 10-27 hz pada data awal (gambar 4.7) dan setelah transformasi adalah bernilai 12 -27 Hz (gambar 4.8). Hal ini sesuai dengan sinyal seismik yang baik menurut (Yilmaz, 1987) yaitu memiliki frekuensi domain sekitar 30 Hz.

4.3.3 Test Case : Perbandingan Transformasi Curvelet dengan Filter Band Pass

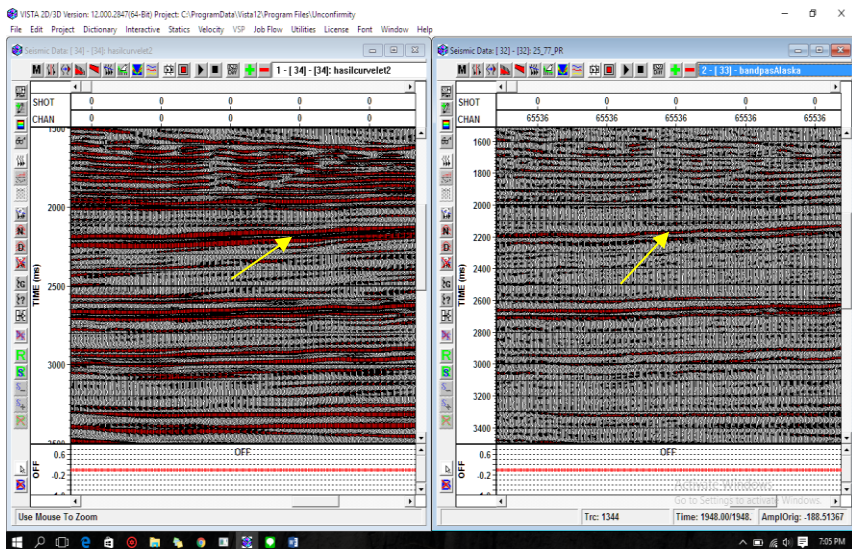
Transformasi Curvelet memiliki konsep multi resolusi yang mampu mengoptimalkan atenuasi *noise* acak dan koheren pada data seismik (Neelamani, 2008) dalam dimensi frekuensi, dip, azimuth dan lokasi (Candes E.J., 2006). Sedangkan pada filter konvensional, seperti *bandpass filter* hanya mampu melemahkan *noise* koheren. Pada kasus ini, penulis menggunakan filter perbandingan yaitu *band pass filter* untuk menguji sejauh mana kedua filter tersebut mampu mengatenuasi *noise* acak dan mampu mengembalikan reflektor yang memiliki frekuensi yang sama dengan *noise*.



Gambar 4.9 Data Asli Penampang Seismik PSTM Original. Panah kuning menunjukkan fokus untuk perubahan yang terjadi setelah dilakukan filter *bandpass* dan Transformasi Curvelet



Gambar 4.10 Aplikasi filter yaitu Transformasi Curvelet (Kiri) dan *Band Pass Filter* (Kanan). Panah kuning menunjukkan perubahan yang signifikan dari data awal pada gambar 4.9.



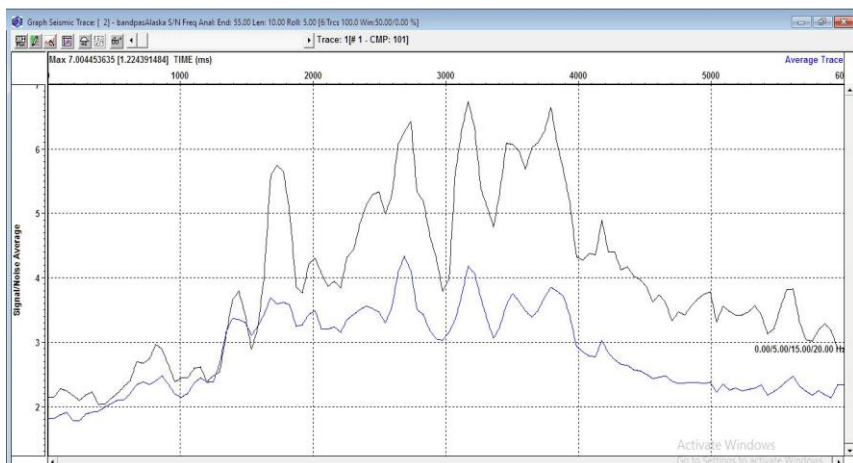
Gambar 4.11 Pada *time window* yang berbeda, panah kuning menunjukkan peningkatan kontras reflektor dengan metode transformasi Curvelet (kiri) dan filter *band pass* (kanan). Informasi sebelumnya menjadi setelah menggunakan filter *band pass*.

Berdasarkan hasil gambar di atas, transformasi Curvelet mampu mempertahankan reflektor. Pada Gambar 4.10 dan 4.11 membuktikan efektifitas curvelet dalam pengolahan data seismik. Reflektor yang awalnya kurang jelas menjadi jelas dengan transformasi curvelet. Pada filter *Band-Pass*, tampilan reflektor hampir sama seperti tampilan pada awalnya. Kuatnya reflektor yang dihasilkan akibat transformasi curvelet menjadikan penampang seismik lebih terlihat baik dalam pengolahan data selanjutnya. Meski pada kasus ini transformasi mempunyai dampak pada data yang telah dilakukan migrasi waktu namun tidak menjadi masalah karena disisi lain transformasi ini mampu meyakinkan batasan litologi untuk pengolahan selanjutnya. Efek *denoising* terlihat nampak lebih jelas pada transformasi curvelet. Pada filter *band pass* menggunakan parameter pada tabel 4.2 sebagai berikut :

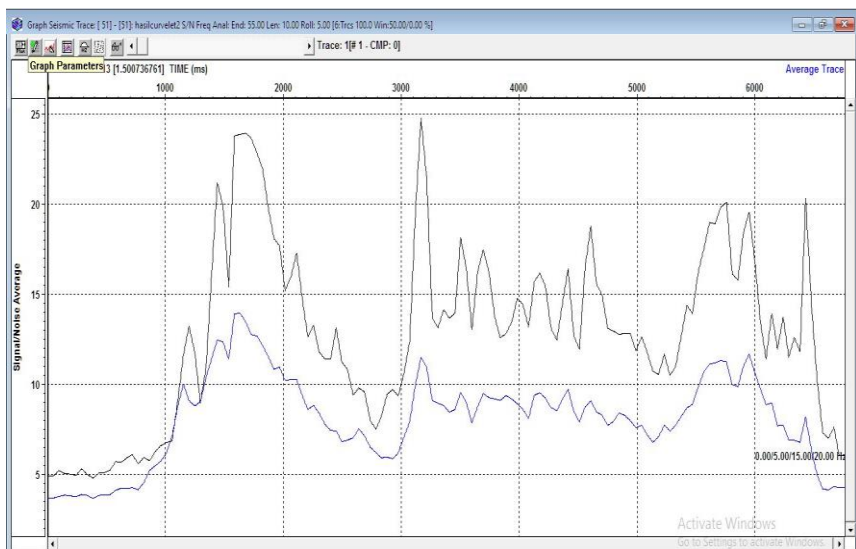
Tabel 4.2 Parameter pada filter *band pass*.

Parameter					
Low Truncation Freq	Low Cut Freq	High Cut Frequency	High Truncation Freq	Filter Dominan	% zero Padding for FFT
10	15	35	45	Frequency	10

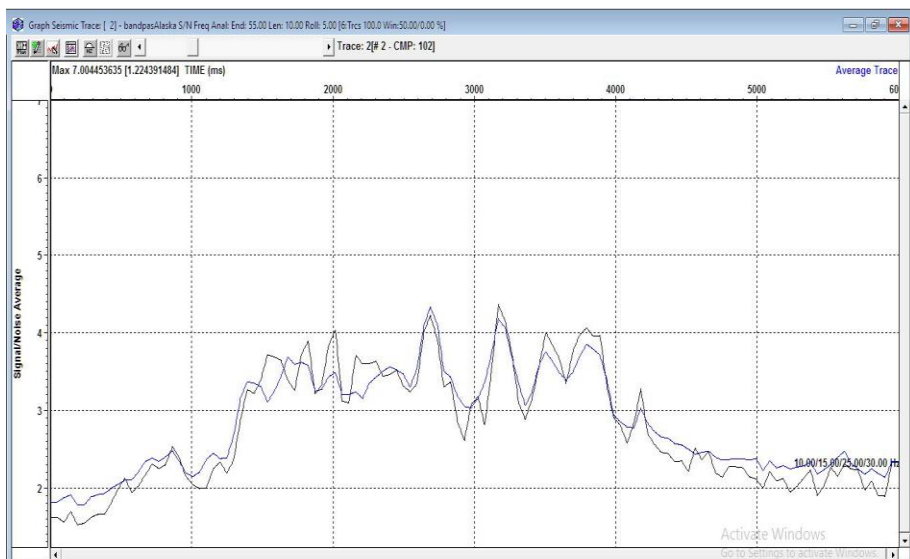
Pemilihan *window* pada band pass filter mengacu pada frekuensi dominan yaitu antara 10-30 hz. Hasilnya, nilai sinyal S/N pada data seismik yang telah dilakukan filter *band pass* dan transformasi curvelet adalah sebagai berikut :



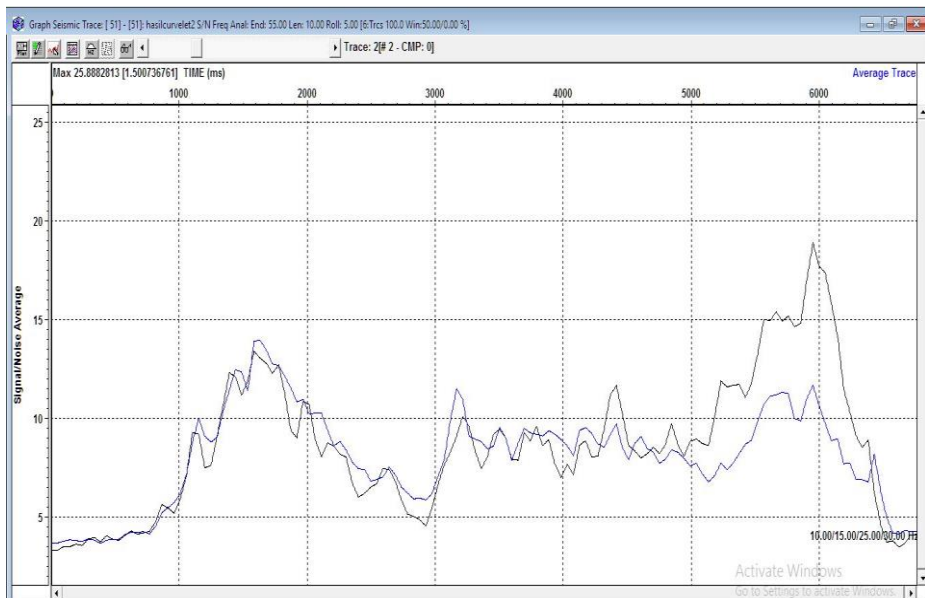
(a1)



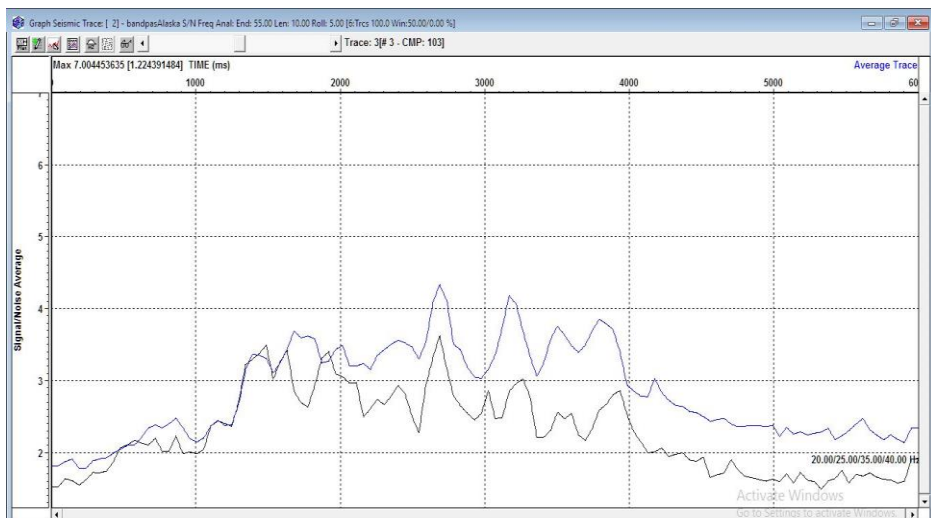
(a2)



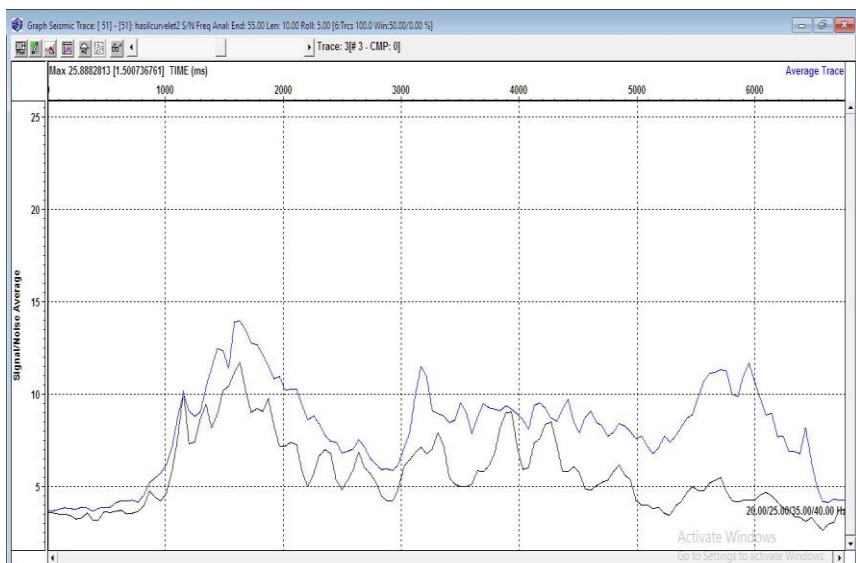
(b1)



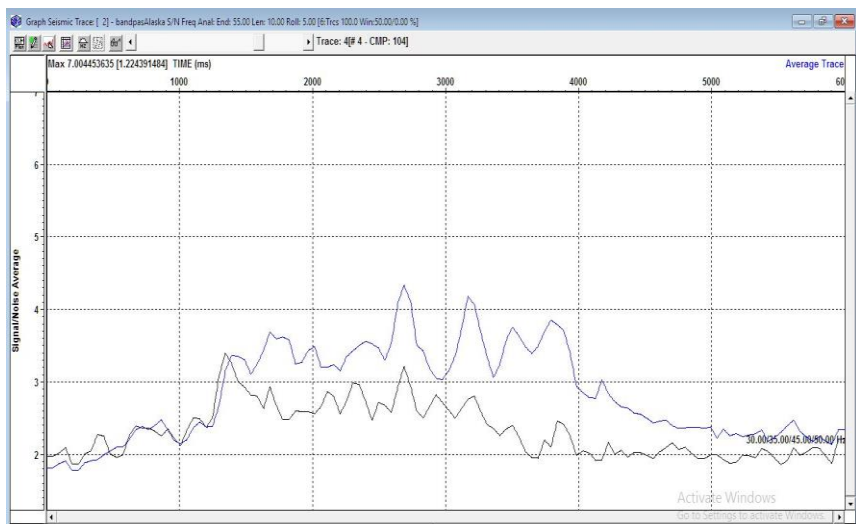
(b2)



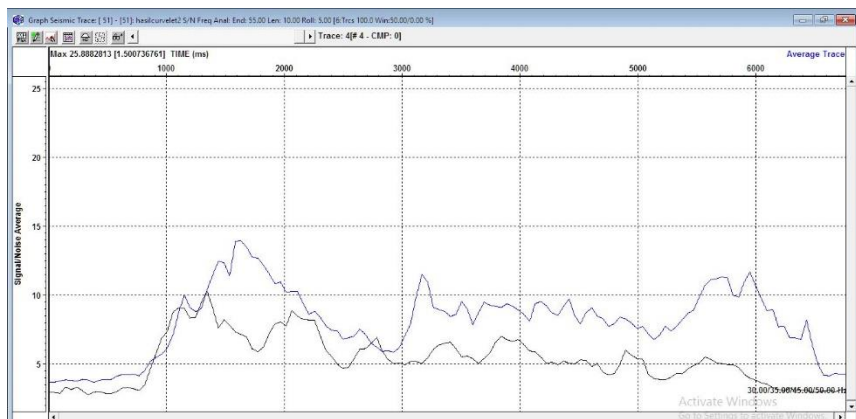
(c1)



(c2)



(d1)



(d2)

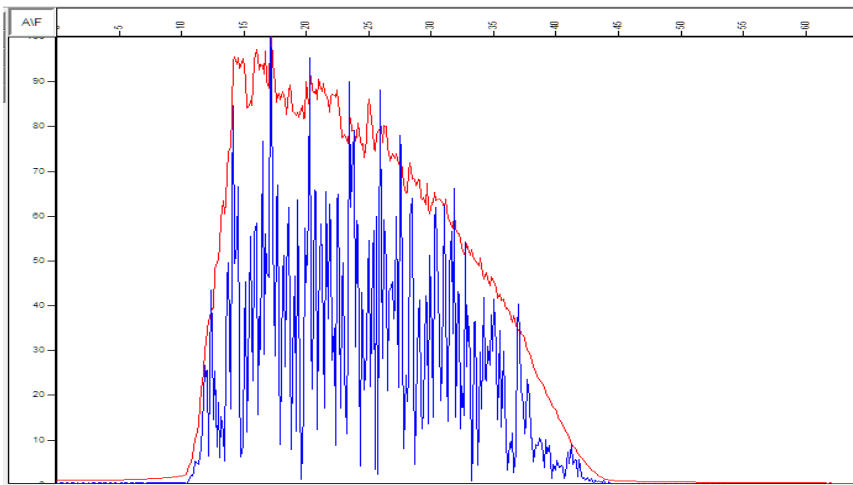
Gambar 4.12 Perbandingan hasil filter *Band Pass* (untuk nomor 1) dan Transformasi Curvelet (untuk nomor 2) secara berturut-turut pada tras 1 (a1 dan a2), tras 2 (b1 dan b2), tras 3 (c1 dan c2) dan tras 4 (d1 dan d2). Kurva hitam merupakan nilai SNR (dalam dB(*decibel*)) pada tras dan kurva biru merupakan nilai tras rata-rata dari keempat tras yang dipilih.

Kurva hitam tras 1 (gambar 4.21, a1) untuk filter *band pass* menunjukkan nilai tertinggi pada *time window* 3200 ms dengan nilai SNR antara 6-7 dB sedangkan pada transformasi curvelet (a2) menunjukkan nilai SNR antara 15-25 dB. Tras 2 menunjukkan nilai SNR 2-4.5 dB untuk filter *band pass* dan nilai 5-17.5 dB untuk transformasi curvelet (b1 dan b2). Pada tras 3 (c1 dan c2) nilai keduanya (*band pass* dan curvelet) sama-sama mengalami penurunan dengan nilai yaitu antara 2-4.2 dB (untuk *band pass*) dan 5-12 dB (untuk curvelet). Nilai SNR pada tras 4 (d1 dan d2) tidak jauh beda dengan tras 3 yaitu 2-3.5 dB (untuk *band pass*) dan 2.5-10 dB (untuk curvelet). Dengan menggunakan software Vista, maka nilai SNR dari empat tras yang dipilih kemudian diambil nilai rata-rata (berdasarkan kurva biru, gambar 4.12) sehingga nilai SNR pada data filter *Band Pass* dan Transformasi curvelet sebagai berikut :

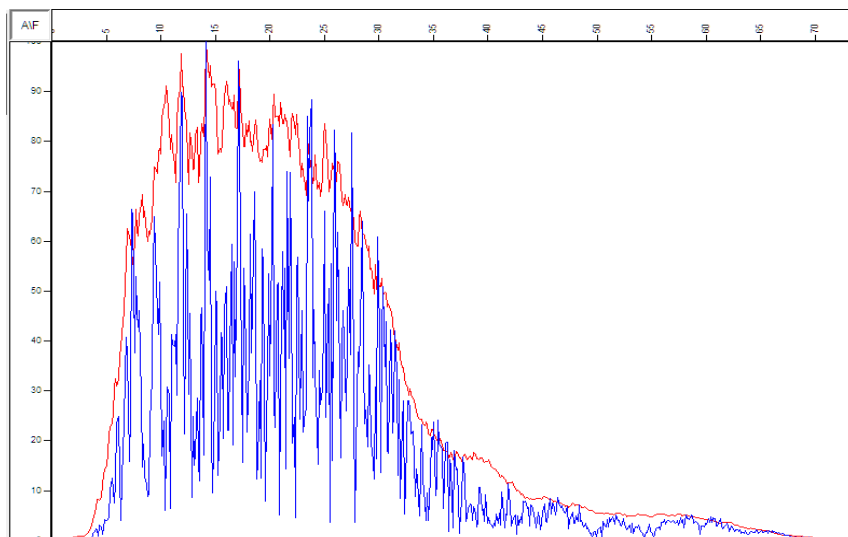
Tabel 4.3 Daftar Nilai SNR Tertinggi Pada Data setelah filter *BandPass* dan filter Transformasi Curvelet

Tras No.	SNR Rata-Rata (dB)
Data Original	3.5
Band Pass	4.5
Transformasi Curvelet	10.4

Nilai rata-rata SNR pada keempat tras dengan filter *band pass* dan transformasi curvelet adalah 4.5 dan 10.4 dB sedangkan pada data sebelum transformasi adalah 3.5 dB (lihat tabel 4.3). Data awal sebelum dilakukan perlakuan filter memiliki nilai 3.5 dB. Berdasarkan data tabel 4.3 bahwa transformasi curvelet dapat melakukan rekonstruksi ulang reflektor sehingga meningkatkan nilai SNR. Filter *Band Pass* merupakan filter umum namun masih kurang baik dalam meningkatkan SNR. Selain itu, perbedaan keduanya juga dibuktikan dengan nilai spektrum amplitudo dan frekuensi pada gambar dibawah ini :



(a)



(b)

Gambar 4.13 Perbandingan Spektrum Amplitudo antara (a) Filter *Band Pass* (10-15-35-60 Hz) dan (b) Transformasi Curvelet

Spektrum Amplitudo dan frekuensi pada gambar 4.13 menunjukkan hasil yang berbeda. Pada filter *band pass* (gambar 4.13, a) menunjukkan rentang frekuensi dominan diantara 10-40 Hz sedangkan pada transformasi curvelet (gambar 4.13, b) menunjukkan nilai dominan yaitu 10-35 Hz sehingga dapat dikatakan bahwa teknik transformasi curvelet ini mampu menjadi filter opsional pada pengolahan data seismik 2D darat. Transformasi curvelet mampu merekonstruksi kembali bidang, inklinasi, dan fitur kurva pada data seismik lebih efektif yang diperoleh dari koefisien filternya.

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan di atas, maka dapat diberikan kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai SNR pada data seismik sintetik “Antiklin” yaitu antara 19-25 dB pada data *noisy* dan pada data curvelet memiliki nilai antara 27-28 dB. Sedangkan pada data seismik sintetik “Marmousi” memiliki nilai antara 15-16 dB pada data *noisy* dan nilai antara 17-21 dB pada data curvelet. Terbukti bahwa Curvelet mampu meningkatkan SNR data seismik.
2. Nilai parameter dalam transformasi curvelet terbaik pada percobaan ini yang digunakan adalah sebagai berikut: *finest* =1(curvelet), *nbscales* =3, *Angles coarse*=8, *sigma coarse*=3, *sigma fine* = 10, *shift*= 3, *nell1*=2, *weighting*=8 dan *tuning neighbor* =10 sehingga menghasilkan filter data yang baik.
3. Resolusi dan kontras reflektor secara kualitatif pada data seismik 2D PSTM menunjukkan kemenerusan yang jelas dan kontras yang meningkat sehingga memudahkan dalam pengolahan data selanjutnya. Sedangkan pada data sintetik “Antiklin dan “Marmousi” kemenerusan reflektor mampu dikembalikan dengan cukup baik.
4. Spektrum Amplitudo dan Frekuensi pada Transformasi Curvelet menunjukkan rentang nilai 5-60 HZ dengan nilai dominan yaitu 12-27 Hz, data sebelum transformasi memiliki nilai rentang 10-105 Hz dengan nilai dominan adalah 10-27 Hz. Dengan ini, frekuensi yang dianggap buruk dapat dihilangkan sedangkan nilai amplitudo dan frekuensi dominan dapat dipertahankan.

5.2 Saran

Saran dari tugas akhir ini adalah :

1. Transformasi Curvelet dapat digunakan sebagai filter alternative pada pengolahan data seismik 2D.
2. Perlu dilakukan atenuasi *noise* koheren pada *pre stack time migration* dan *shot gather* pada data seismik 2D dan 3D.
3. Perlu dilakukan pengolahan dengan kapasitas *Random Acces Memory* laptop/komputer yang lebih dari 4 GB.
4. Operasi filter transformasi curvelet masih menggunakan *single operator*. Maka diperlukan mekanisme filter tiap cuplikan pada pengolahan transformasi curvelet.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR PUSTAKA

- A. Gorszczyk., M. M. (2015). Enhancing 3D post-stack seismic data acquired in hardrock environment using 2D curvelet transform. *Geophysical Prospecting*, 63, 903–918 .
- Bednar, J. (1983). Application of Median Filtering to Deconvolution , Pulse Estimation, and Statistical Editing of Seismic Data . *Geophysic* 48, 1598–1610.
- Beikman, H. (1980). *Geological Map of Alaska* . scale 1:2,500,000: U.S. Geological Survey April 2008.
- Binh, N. T., & Khar, A. (2010). Multilevel Threshold Based Image Denoising in Curvelet Domain. *JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 25(3): 632–640.
- Canales, L. (1984). Random noise reduction. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 525-527.
- Canales, L. (1984). Random Noise Reduction. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 525-527.
- Candes E.J., D. L. (2006). Fast Discrete Curvelet Transform. *Multiscale Model Simul* 5, 861-899.
- Factor, A. F. (2005). *A Guide to Alaska's oil and gas basins and business environment*. Alaska: Petroleum News.
- Gorszczyk, A. A. (2014). Application of Curvelet Denoising to 2D and 3D Seismic Data-Practical Consideration. *Journal of Applied Geophysic*, DOI:10.1016/j.jappgeo.2014.03.009.
- Górszczyk, A., Adamczyk, A., & Malinowski, M. (2014). Application of curvelet denoising to 2D and 3D seismic data — Practical considerations. *Journal of Applied Geophysics*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jappgeo.2014.03.009>.
- Hennenfent, G. J. (2011). Interpretative Noise Attenuation in The Curvelet Domain. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 3566-3570.
- Herrmann, F. W. (2008). Curvelet Based Seismic Data Processing: A Multiscale and Non-Linear Approach . *Geophysic* 73, A1-A5.
- Kennet, B. (1983). *Seismic Wave Propagation*. Canberra: Cambridge University Press.
- Ma, J. d. (2010). Curvelet Transform [A review recent Application]. *IEEE*, 1053-5888/10/\$26.00©2010IEEE.
- Martin, G. S., & Technology, G. (2017, 5 13). *Allied Geophysical Laboratory University of Houston*. Diambil kembali dari Allied Geophysical Laboratory: Download-Marmousi2: <http://www.agl.uh.edu/downloads/downloads.htm>
- Martin, G. W. (2006). Marmousi2: an Elastic Upgrade for Marmousi. *Led. Edge* 25, 156-166.

- Neelamani, R. B. (2008). Coheren and Random Noise Attenuation Using Curvelet Trasnform. *SEG Leading Edge* 27, 240-248.
- Starck, J. C. (2002). The Curvelet Trasnfrom for Image Denoising. *IEEE Trans. Image Process.* 11, 670-684.
- USGS Energy Resource Program, USGS-ERP. (2017, 1 20). Diambil kembali dari USGS Energy Resource Program: Seismic Data Processing & Interpretation National Petroleum Reserve-Alaska Data Archive: <http://energy.usgs.gov/GeochemistryGeomphysics/SeismicDataProcessingInterpretation/NPRASeismicDataArchive.aspx#3862174-data>
- Verrier, G. a. (1972). La fosse tertiaire et le gisement de Quenguela-Nord. *Revue de l'Institut Francais du Petrole*, 27(1), 51-72.
- Versteeg. (1994). "The Marmousi experience: Velocity model determination on a synthetic comlex data set. *TLE*.
- Yarham, C. H. (2008). Bayesian Ground-Roll Separation by Curvelet-Domain Sparsity Promotion. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 3662-3666.
- Yilmaz, O. (1987). *Seismic Data Processing*. SEG.
- Zhou, B. G. (1994). Linear and parabolic τ - p transforms revisited. . *Geophysics* 59, 1133-1149.

LAMPIRAN

Script Data pada MatLab :

```
%Transformasi Curvelet
%diambil dari www.curvelab.org by By Laurent Demanet,
2004 dan
%SeisLab_10.0301 by Eike Rietsch 2010
%The Author(Diptya) would like say thank you for
those open source script.
%% Case : Ambil Data Seismik
(Seismik Sintetik Antiklin)
load modelsintetik
%% Fdct_wrapping_demo_denoise_enhanced.m - Image
denoising using Curvelets
N = 1000;
sigma = [1*255]; % noise stdev is 0%
dipt = zeros(N,N);
%% Tuning parameters
finest = 1; % 1: curvelets at finest
scale, 2: wavelets at finest scale
nbscales = ceil(log2(min(N)) - 3);
nbscales_coarse = 8;
nsigmas_coarse = 3; % threshold proportional to
nsigmas_coarse*sigma at all scales except finest
nsigmas_fine = 10; % threshold proportional
to nsigmas_fine*sigma at finest scale
nshifts = 1; % number of translations
(per dimension) considered in the cycle-spinning
nell1 = 2; % number of ell-1
iterations
neighb_weight = 1; % for group thresholding,
weight assigned to neighboring curvelets
tuning_neighb = 0.6; % for group thresholding,
parameter used to renormalize the weighted sum of
coefficients squared
% Don't forget that you can choose between diagonal
real, diagonal complex
% and block complex thersholding by uncommenting
portions of the code
disp 'parameter telah ditentukan'
%qui = ones(N,M);
%sigma = qui*(0.1*255);
%noise = rdipt+ sigma;
```

```

noisy_dipt = randn(N) * sigma;
%% Pembuatan Noise
%noisy_dipt= dipt+sigma;
noisy_img = (modelsintetik_resize+noisy_dipt);
disp('noisy_img telah dibuat')
% figure (3);
% subplot (1,2,1); imagesc(noisy_dipt); colormap
seismic;
% % colorbar ; title('Gambar Asli'); caxis([-20
20]);ylim([0 800]);
% hold on;
% subplot (1,2,2); imagesc(noisy_img); colormap
seismic;
% % colorbar ; title('Hasil Curvelet');caxis([-20
20]);ylim([0 800]);
% hold on;
%% get L2norm, put into E
F = ones(N,N);
X = fftshift(iff2(F)) * sqrt(prod(size(F)));
disp('Computing L^2 norms ...');
tic;
C=fdct_wrapping(X,0,finest,nbscales,nbangles_coarse);
E = cell(size(C));
for s=1:length(C)
    E{s} = cell(size(C{s}));
    for w=1:length(C{s})
        A = C{s}{w};
        E{s}{w} = sqrt(sum(sum(A.*conj(A))) /
prod(size(A)));
    end
end
disp('Computing parameters ...');
[X_rows, X_cols, F_rows, F_cols, N_rows, N_cols] =
fdct_wrapping_param(C,N,N);
%% Cycle spinning
n = 0;
restored_img = 0;
for xshift = 1:nshifts
    for yshift = 1:nshifts
        shift_img =
circshift(modelsintetik_resize,[xshift yshift]);
        n = n + 1;
    end
end

```

```

        disp(['Direct transform, shift nr. ', num2str(n), '
...']);
    C =
fdct_wrapping(shift_img,0,finest,nbscales,nbangles_co
arse);
    %% Thresholding
    disp('Thresholding ...')
    thresh = nsigmas_coarse * sigma;
    for j = 1:length(C)
        if j == length(C), thresh = nsigmas_fine *
sigma; end;
        for l = 1:length(C{j})
            thresh_jl = thresh*E{j}{l};
            % Uncomment for 'diagonal real thresholding'
            %             recjl = real(C{j}{l});
            %             imcjl = imag(C{j}{l});
            %             recjl = recjl .* (abs(recjl)
> thresh_jl);
            %             imcjl = imcjl .* (abs(imcjl)
> thresh_jl);
            %             C{j}{l} = recjl + sqrt(-
1)*imcjl;
            % Uncomment for 'diagonal complex
thresholding'
            %             modcjl = abs(C{j}{l});
            %             argcjl = C{j}{l} ./ modcjl;
            %             modcjl = modcjl .* (modcjl > thresh_jl);
            %             C{j}{l} = argcjl .* modcjl;
            % Uncomment for 'block complex thresholding'
            modcjl = abs(C{j}{l});
            argcjl = C{j}{l} ./ modcjl;
            rowstep = N/N_rows{j}{l};
            colstep = N/N_cols{j}{l};
            evenquad = ~mod(ceil(l*4/length(C{j})),2);
            if evenquad,
                if (j == 1)|(finest==2 & j==nbscales),
fcolsjl = 1; else fcolsjl = F_cols{j}{l}; end;
                rowshift = - round(F_rows{j}{l}/fcolsjl *
rowstep);
                testcjl = sqrt(modcjl.^2 +
neighb_weight*(circshift(modcjl,[1 0]).^2 +
circshift(modcjl,[-1 0]).^2 + ...

```

```

circshift(modcjl,[rowshift 1]).^2 + circshift(modcjl,
[-rowshift -1]).^2));
    else
        if (j == 1)|(finest==2 & j==nbscales),
frowsjl = 1; else frowsjl = F_rows{j}{1}; end;
        colshift = - round(F_cols{j}{1}/frowsjl *
colstep);
        testcjl = sqrt(modcjl.^2 +
neighb_weight*(circshift(modcjl,[0 1]).^2 +
circshift(modcjl,[0 -1]).^2 + .....
circshift(modcjl,[1 colshift]).^2 + circshift(modcjl,
[-1 -colshift]).^2));
        end;
        testcjl = testcjl ./
sqrt(1+4*neighb_weight*tuning_neighb);
        modcjl = modcjl .* (testcjl > thresh_jl);
        C{j}{1} = argcjl .* modcjl;
    end
end
disp('Inverse transform ...');
temp_restored = real(ifdct_wrapping(C,0,N,N));
%% L1 iterations
for nupdate = 1:nell1
    nupdate
    disp(['Direct transform, within ell-1
iteration, shift nr.',num2str(n),' ...']);
    D =
fdct_wrapping(temp_restored,0,finest,nbscales,nbangle
s_coarse);
    %% Thresholding
    disp('Thresholding ...');
    thresh = nsigmas_coarse * sigma;
    for j = 1:length(C)
        if j == length(C), thresh = nsigmas_fine *
sigma; end;
        for l = 1:length(C{j})
            thresh_jl = thresh*E{j}{1};
            % Uncomment for 'diagonal real
thresholding'
            %
            redjl = real(D{j}{1});
            %
            imdj1 = imag(D{j}{1});
            %
            recjl = real(C{j}{1});

```



```

                                %             imcj1 = imag(C{j}{1});
                                %             recdj1 = (recj1 -
redj1) .* (abs(recj1) > thresh_j1);
                                %             imdj1 = (imcj1 -
imdj1) .* (abs(imcj1) > thresh_j1);
                                %             D{j}{1} = redj1 +
sqrt(-1)*imdj1;
                                % Uncomment for 'diagonal complex
thresholding'
                                %             modcj1 = abs(C{j}{1});
                                %             moddj1 = abs(D{j}{1});
                                %             argcj1 = C{j}{1} ./
(modcj1+1e-16);
                                %             argdj1 = D{j}{1} ./
(moddj1+1e-16);
                                %             moddj1 = (modcj1 -
moddj1) .* (modcj1 > thresh_j1);
                                %             D{j}{1} = argdj1 .*
moddj1;
                                % Uncomment for 'block complex
thresholding'
                                modcj1 = abs(C{j}{1});
                                moddj1 = abs(D{j}{1});
                                argcj1 = C{j}{1} ./ (modcj1+1e-16);
                                argdj1 = D{j}{1} ./ (moddj1+1e-16);
                                rowstep = N/N_rows{j}{1};
                                colstep = N/N_cols{j}{1};
                                evenquad = ~mod(ceil(1*4/length(C{j})),2);
                                if evenquad,
                                    if (j == 1)|(finest==2 & j==nbscales),
fcolsj1 = 1; else fcolsj1 = F_cols{j}{1}; end;
                                    rowshift = - round(F_rows{j}{1}/fcolsj1 *
rowstep);
                                    testcj1 = sqrt(modcj1.^2 +
neighb_weight*(circshift(modcj1,[1 0]).^2 +
circshift(modcj1,[-1 0]).^2 + ...

                                circshift(modcj1,[rowshift 1]).^2 + circshift(modcj1,
[-rowshift -1]).^2));
                                else
                                    if (j == 1)|(finest==2 & j==nbscales),
frowsj1 = 1; else frowsj1 = F_rows{j}{1}; end;

```

```

        colshift = - round(F_cols{j}{1}/frowsj1 *
colstep);
        testcjl = sqrt(modcjl.^2 +
neighb_weight*(circshift(modcjl,[0 1]).^2 +
circshift(modcjl,[0 -1]).^2 + ...

circshift(modcjl,[1 colshift]).^2 + circshift(modcjl,
[-1 -colshift]).^2));
        end;
        testcjl = testcjl ./
sqrt(1+4*neighb_weight*tuning_neighb);
        moddjl = (modcjl - moddjl) .* (testcjl >
thresh_j1);
        D{j}{1} = argdj1 .* moddjl;
    end
end
%% Inverse Transform
disp('Inverse transform ...')
temp_update = real(ifdct_wrapping(D,0,N,N));
max(max(abs(temp_update)))
temp_restored = temp_restored + temp_update;
end;
temp_restored = circshift(temp_restored,[-xshift,
-yshift]);
restored_img = (n-1)/n*restored_img +
1/n*temp_restored;
end
end
ima=max(restored_img);
MSE = sum(sum((modelsintetik_resize-
restored_img).^2))/N^2;
PSNR = 20*log10(ima/sqrt(MSE));
disp(['PSNR = ',num2str(PSNR)]);
disp(['Time elapsed = ',num2str(toc)]);
%% Menyimpan dan Menampilkan Format SEGY
traces1= imresize(restored_img,[751 400]);
reans=original;
namal='SEGY Rekonstruksi7';
reans.traces=traces1;
reans.nama=namal;
write_seggy_file(reans,'SEGY Rekonstruksi7.sgy');
traces_noise= imresize(noisy_img,[751 400]);
noise=original;

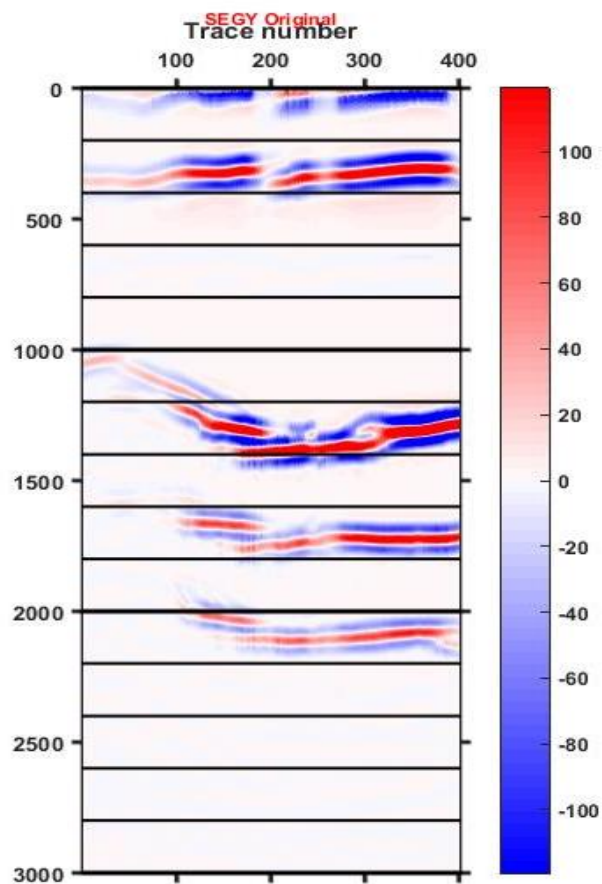
```

```

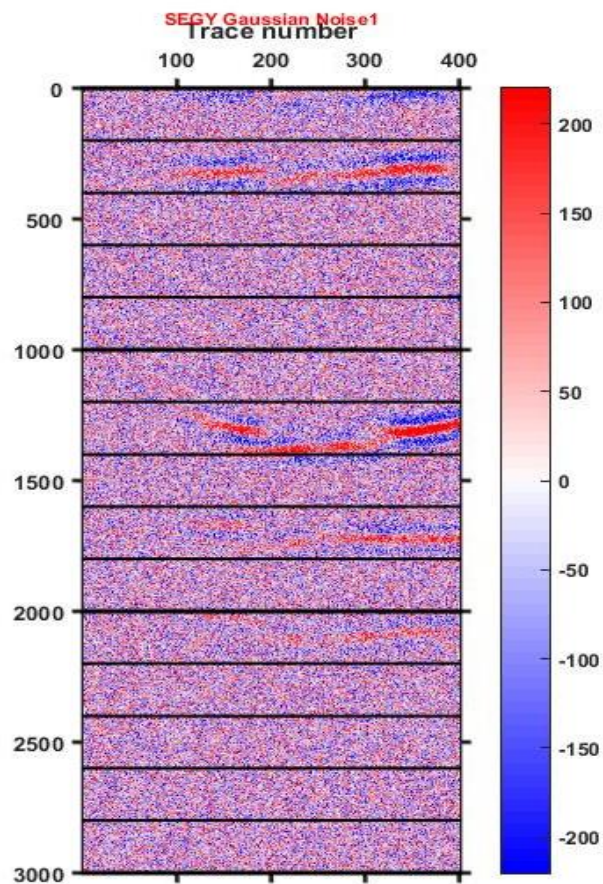
nama2='SEGY Gaussian Noise7';
noise.traces=traces_noise;
noise.nama=nama2;
write_segy_file(noise,'SEGY Gaussian Noise7.sgy');
figure(1)
subplot
(1,3,1);s_cplot(original,{'shading','interp'},{'figure',
'old'}, ...
               {'title','SEGY
Original','FontSize',22});
subplot
(1,3,2);s_cplot(noise,{'shading','interp'},{'figure',
'old'}, ...
               {'title','SEGY Gaussian
Noise7','FontSize',22});
subplot
(1,3,3);s_cplot(reans,{'shading','interp'},{'figure',
'old'}, ...
               {'title','SEGY
Rekonstruksi7','FontSize',22});
disp 'Selesai!'

```

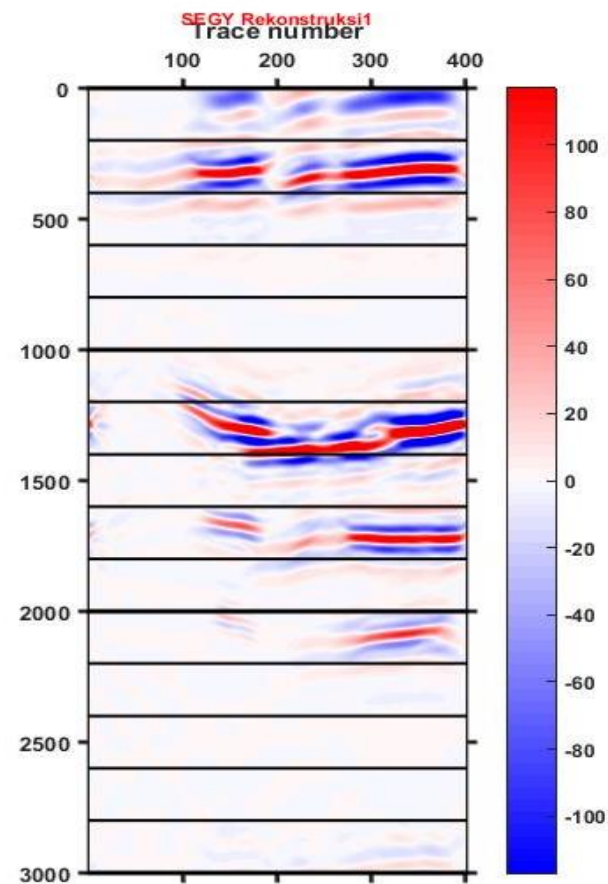
HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN



Data Awal



Data dengan $\sigma=255$



Data Setelah Transformasi Curvelet



Dosen Pembimbing:

Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T

NIP. 19690906 199702 1 001

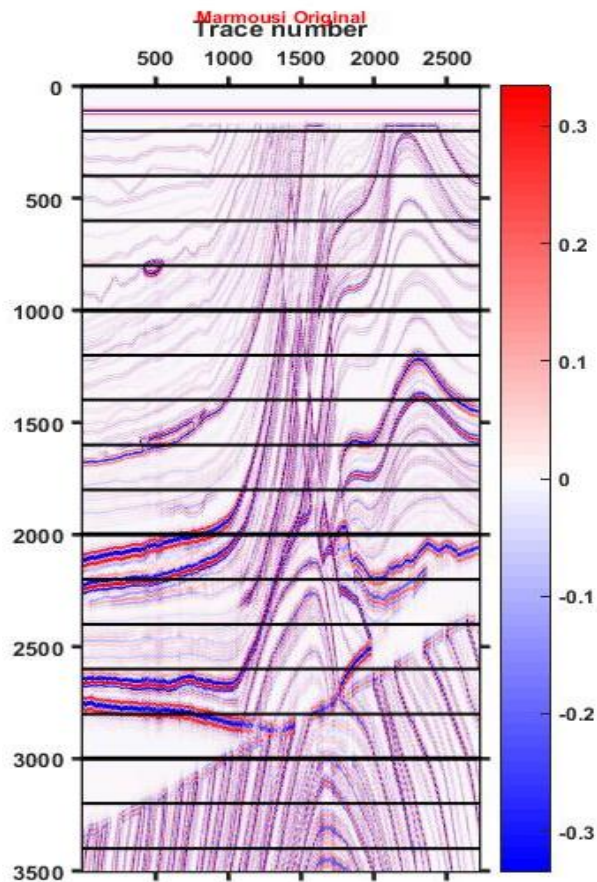
Dr. Dwa Desa Warnana

NIP. 19760123 200003 1 001

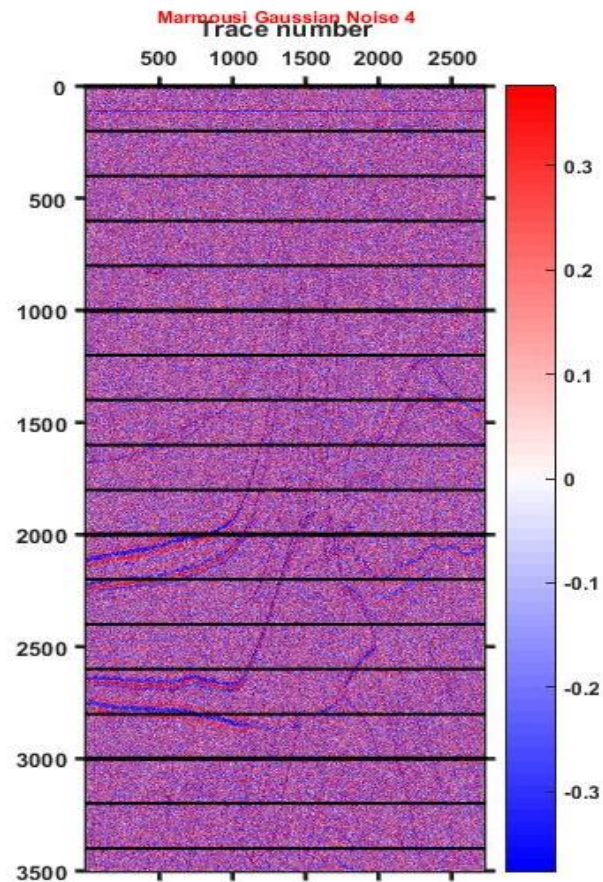
Diolah oleh : Diptya Mas Nugraha (3713100042)

Nama Gambar :
Transformasi Curvelet Uji Coba 1 Pada Data Seismik
Sintetik 2D "Antiklin"

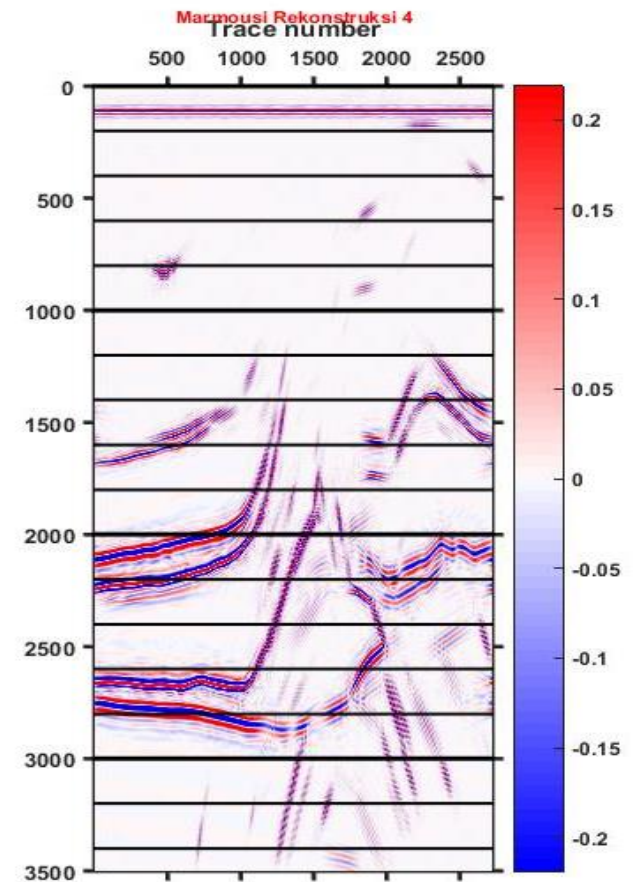
HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN



Data Awal



Data dengan $\sigma 0.255$



Data Setelah Transformasi Curvelet



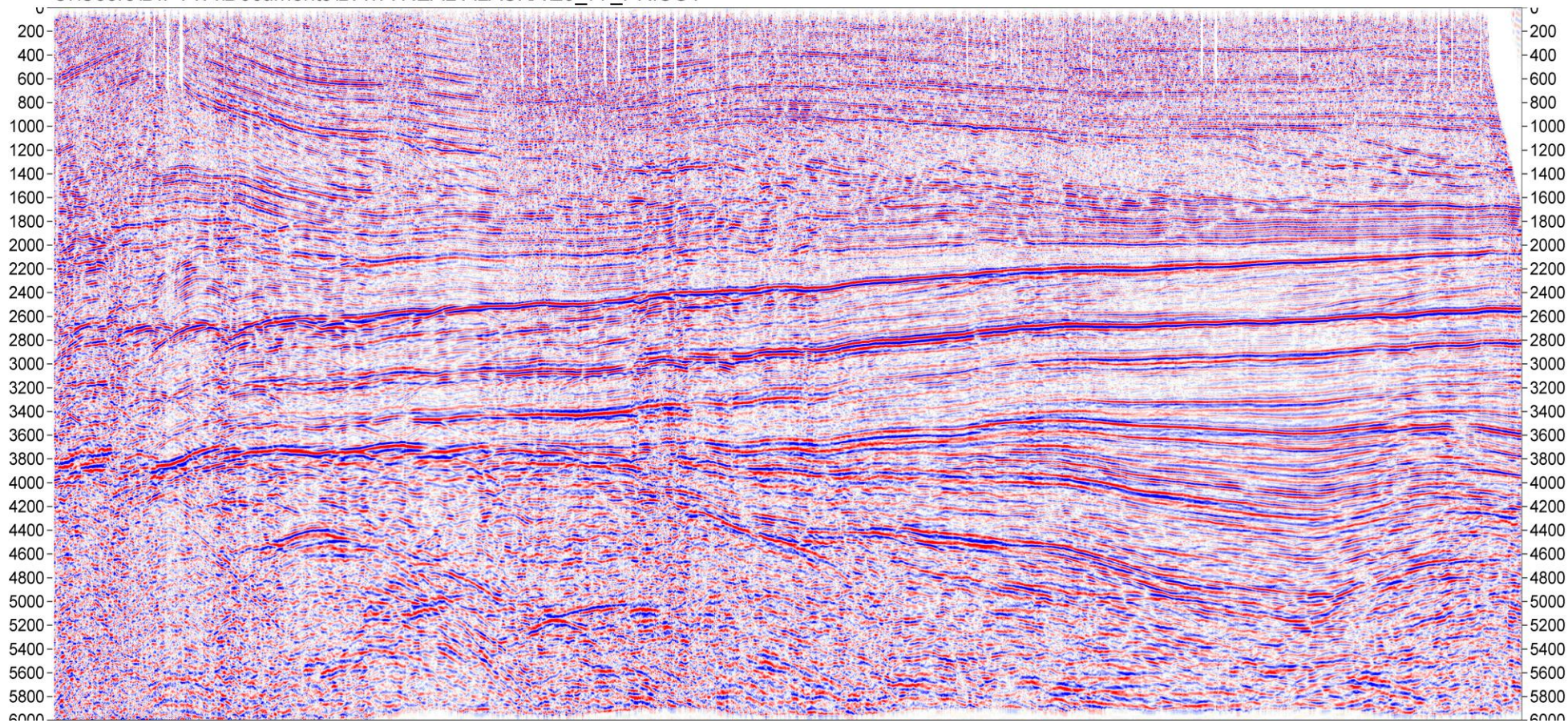
Dosen Pembimbing:
 Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T NIP. 19690906 199702 1 001
 Dr. Dwa Desa Warnana NIP. 19760123 200003 1 001

Diolah oleh : Diptya Mas Nugraha (3713100042)

Nama Gambar :
 Transformasi Curvelet Uji Coba 3 Pada Data Seismik
 Sintetik 2D "Marmousi"

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

C:\Users\DIPTYA\Documents\DATA REAL ALASKA\25_77_PR.SGY



Dosen Pembimbing:

Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T

NIP. 19690906 199702 1 001

Dr. Dwa Desa Warnana

NIP. 19760123 200003 1 001

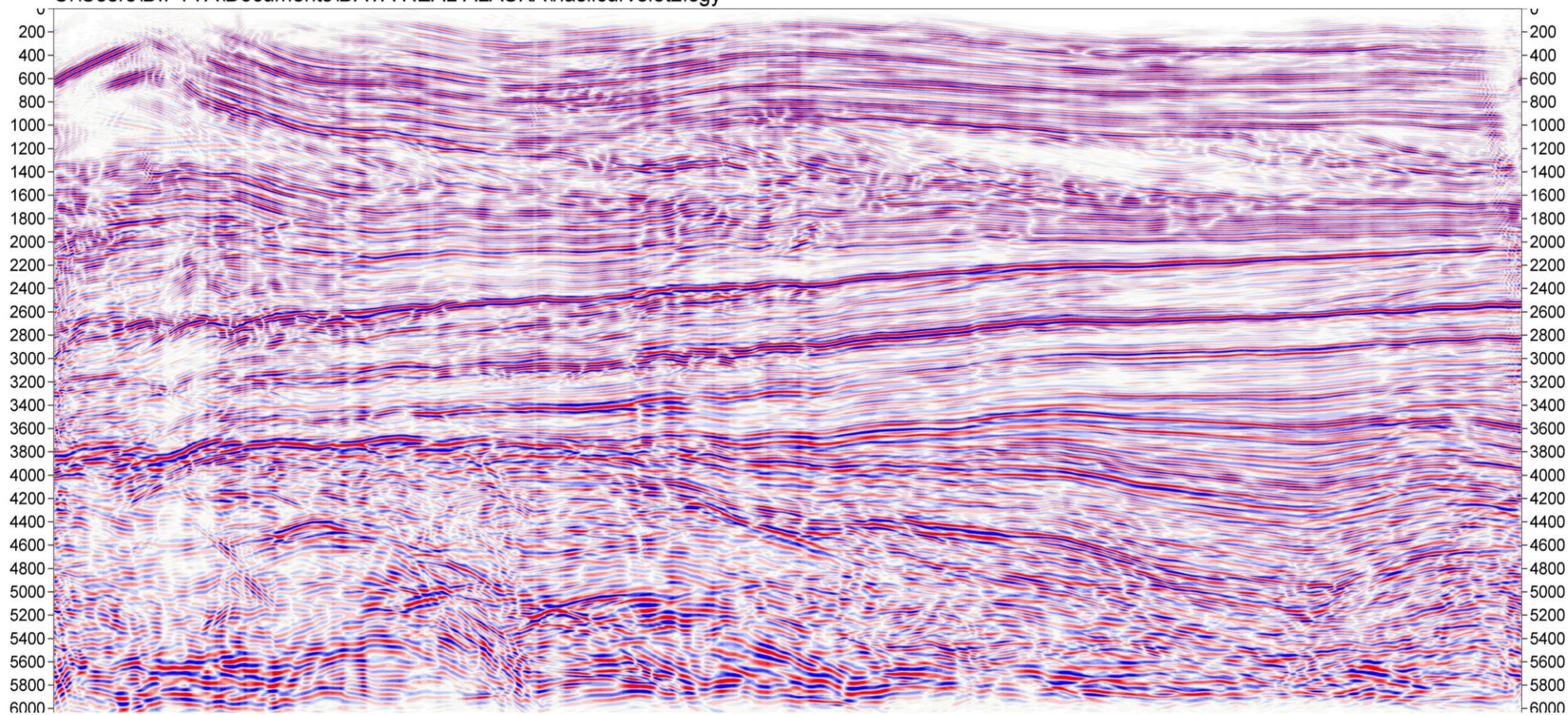
Diolah oleh : Diptya Mas Nugraha (3713100042)

Nama Gambar :

Data Seismik 2D *Real* PSTM North-West Alaska

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

C:\Users\DIPTYA\Documents\DATA REAL ALASKA\hasilcurvelet2.sgy



Dosen Pembimbing:	
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T	NIP. 19690906 199702 1 001
Dr. Dwa Desa Warnana	NIP. 19760123 200003 1 001

Diolah oleh : Diptya Mas Nugraha (3713100042)

Nama Gambar :
Transformasi Curvelet Pada Data Seismik 2D
Real PSTM North-West Alaska

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

PROFIL PENULIS



Diptya Mas Nugraha adalah mahasiswa Teknik Geofisika ITS 2013. Lahir di Surabaya pada tanggal 18 Agustus 1995. Putra yang terlahir dari pasangan Drs. Winarno dan Henny Kartikawati S.H., M.H ini merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Diptya, yang akrab disapa Tata, aktif dalam kegiatan kampus yakni sebagai Sekretaris Ristek Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS 2015/2016, ketua kuliah tamu HSE untuk Geofisika 2014, ketua sie konsumsi pada workshop Integrated Petroleum Exploration Exploitation 2016 dan Trainer Keilmiah ITS 2016/2017. Kecintaannya akan musik Jawa membuat Diptya juga ikut dalam kegiatan Unit Karawitan ITS 2015/2016. Penulis yang memiliki hobi bermain piano dan menulis ini juga turut aktif di luar kampus dalam kegiatan karya tulis yakni menjadi 2nd winner essay *South Asean Geoscience Student Conference 2016* dan finalis pada *SKK Migas Student Writing Compt. 2016*. Selama di kuliah, penulis juga mengikuti ajang konferensi internasional yaitu pada 10th *International Conference on Advanced Science and Technology* (10th ICAST) 2015 sebagai presenter dengan tema *paper* adalah *Carbon Capture Storage*. Beberapa kegiatan kuliah lapangan dan geologi juga diikuti yakni Identifikasi Geologi pada Lapangan Karangsambung, Kuliah Lapangan Kabuh Jombang dan kuliah lapangan geofisika dan geologi dengan 5 metode (VLF, Mikrotermor, Seismik Refraksi dan Refleksi, Resistivitas 1D dan 2D serta Magnetik) di daerah Gunung Lumpur lapangan Wringin Anom. Pada tahun ketiga penulis juga menjalani kerja praktek di badan Geofisika Pusdiklat Migas Cepu 2016 dalam identifikasi bidang gelincir menggunakan geolistrik konfigurasi Wenner dengan alat *SuperSting R8*. Peran selama kuliah tidak hanya pada aspek keprofesian, tapi aspek sosial juga ikut dalam kegiatan ITS Mengajar for Indonesia 2013 sebagai tim kreatif, relawan pengajar musik taman baca Putat Jaya dan pengajar kelas kebumihan. Pesan kepada seluruh mahasiswa Teknik geofisika ITS adalah gapailah ilmu dan pengalaman sebanyak mungkin dengan tetap mengedepankan agama dan sikap karena setiap mahasiswa memiliki masa dan waktu untuk menjadi yang terbaik.

Jika ingin berkomunikasi lebih dengan penulis, dapat menghubungi via email : diptya.mas13@mhs.geofisika.its.ac.id atau bejodiptya@gmail.com .